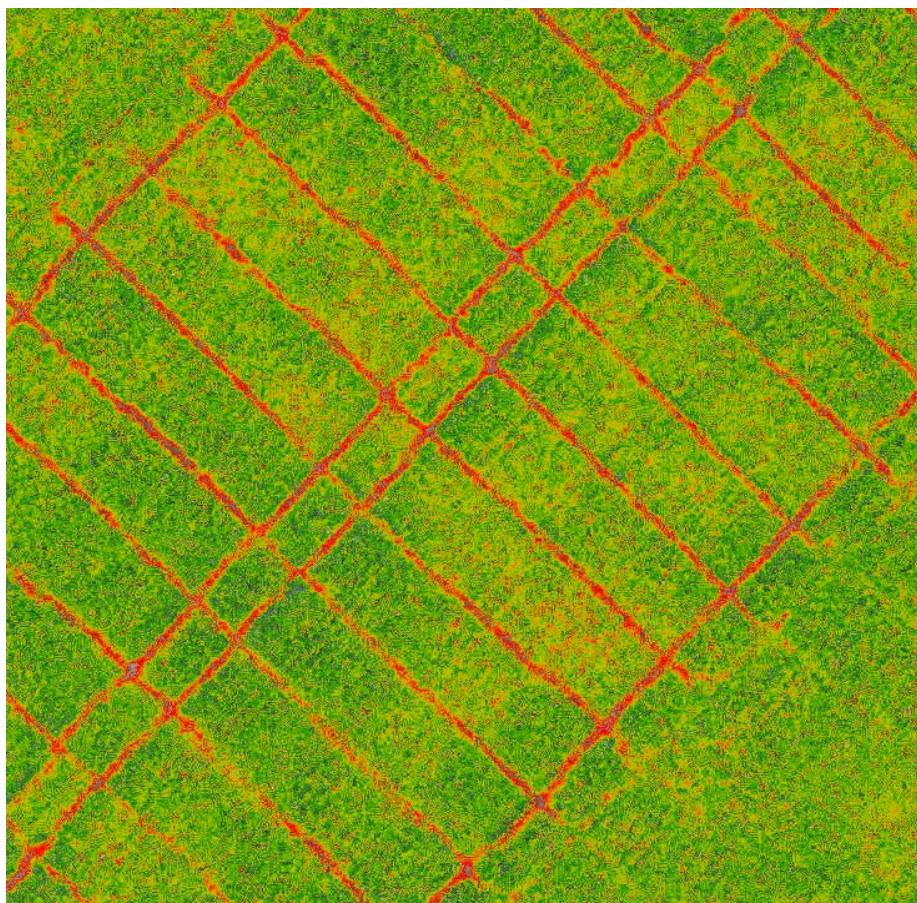


Sjukdomsidentifiering i potatis och stråsäd med luftburna multispektrala sensorer

*Assessing plant health in potatoes and cereal crops using
air-borne multispectral sensors*

Martin Holmberg



Magisteruppsats i biologi
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt

Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU
2017:02

Uppsala 2017

Sjukdomsidentifiering i potatis och stråsåd med luftburna multispektrala sensorer

Assessing plant health in potatoes and cereal crops using air-borne multispectral sensors

Martin Holmberg

Handledare: Kristin Piikki, institutionen för mark och miljö, SLU

Biträdande handledare: Erland Liljeroth, institutionen för växtskyddsbiologi, SLU och Pär-Johan Lööf, Lantmännen R&D

Examinator: Bo Stenberg, institutionen för mark och miljö, SLU

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A1E

Kurstitel: Självständigt arbete i biologi – magisterarbete

Kurskod: EX0732

Program/utbildning: Agronomprogrammet – mark/växt, 270 hp

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2017

Omslagsbild: VARI-konverterad bild på parceller med höstvete. Foto Martin Holmberg, 2016.

Serietitel: Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU

Delnummer i serien: 2017:02

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: höstvete, bladmögel, svartpricksjuka, UAS, *Solanum tuberosum*, *Triticum aestivum*

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för mark och miljö

Sammanfattning

Fält med potatis (*Solanum tuberosum* L.) och höstvetete (*Triticum aestivum* L.) i vilka det pågick försök med fungicider undersöktes med två kameror (RGB-sensorer som registrerar ljus i det röda (R), gröna (G) och blå (B) våglängdsområdet) och en multispektral sensor (som registrerar ljus i fem smala band i det synliga och nära infraröda våglängdsområdet). Bildmaterial samlades in vid sju tillfällen mellan 20 juni och 17 augusti för potatisen och fem tillfällen mellan 8 juni och 23 juli för höstvetet. Mosaiker bildades av de bilder som tagits, ur vilka reflektansvärden sedan extraherades för att jämföras med manuellt utförda graderingar av angreppsgraden i beståndet. Syftet var att se om sensortekniken var kapabel att upptäcka sjukdomar i ett tidigt stadium och fungera som underlag för beslut om växtskyddsbehandlingar alternativt användas för dokumentation och gradering av angrepp i fältförsök. I höstvetete (som enbart undersöktes med RGB-sensor) kunde ingen statistiskt signifikant korrelation mellan förekomsten av svartpricksjuka (*Septoria tritici*) och reflektansvärden för enskilda band eller Green-Red-Vegetation Index (GRVI) ses (d.v.s. $p > 0.05$) men tekniken visade sig istället fungera för att bedöma beståndets grönhet ($p = 0,05$), vilket också var en beståndsegenskap som graderades för hand. Året för undersökningarna (2016) fanns det en ovanligt låg förekomst av svampsjukdomar i fält. Arbetet visar att det är fullt möjligt att utföra en datainsamling över fält som baserat på reflektansavvikelser kan detektera möjliga angrepp av bladmögel och efter manuell fältkontroll styra fungicidbehandling. Det är dock tveksamt om vi ser resultaten i tid för att hindra en fortsatt spridning av bladmögel i beståndet

Abstract

Potato (*Solanum tuberosum* L.) and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) fields with ongoing field trials testing use of fungicides were evaluated using two cameras (RGB-sensors that registers light in the red (R), green (G) and blue (B) wavelength bands) and one multispectral sensor (that registers light in five narrow bands in the visible and near infrared region of the electromagnetic spectrum). Data was collected using the three sensors at multiple times throughout the season, Seven times from the 20th of June to August 17th in parcels with potatoes and five times from 8th of June to July 23rd in trials with winter wheat. The collected data were later used in creating a mosaic, from which values of reflectance was extracted and compared to traditional (manual) methods of estimating the severity of diseases. This was carried out throughout the season. The ambition of the present thesis was to test whether it is possible to use Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-borne sensors to detect diseases in fields with potatoes and winter wheat. The evaluated diseases were potato late blight (*Phytophthora infestans*) and septoria leaf blotch (*Septoria tritici*). In winter wheat we were not able to find any correlation neither between single bands of reflectance nor vegetation indices (GRVI) and the amount of *S.tritici* in the crop ($p>0.05$). However, the GRVI-index was found suitable to evaluate the amount of green leaf area ($p= 0.05$) in the canopy. The season in which this study was carried out (2016) lacked in rain during June and July which might have contributed to the unusually low amount of fungal diseases recorded. The present thesis concludes that it is possible to detect areas with possible infections due to changes in values of reflectance using multispectral sensors and its correlation to infections. It is possible to use it, together with manual field observations, as decision support for application of fungicides. However it is not certain the disease is detected early enough not to spread further into the field.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Under en lång tid har växtodlare efterfrågat en metod för att snabbt få en överblick och synliggöra variationer över fält och grödor. Obemannade luftfarkoster, s.k. drönare, försedda med sensorer kan bidra med en lösning på problemet. Genom att analysera ljus som reflekteras från växternas blad är det möjligt att dra slutsatser om fotosyntetisk aktivitet i fältet, vilket kan avslöja växternas tillstånd.

Under sommaren 2016 användes drönare för att lyfta sensorer – i princip avancerade kameror – över fältförsök med potatis och höstvet. I försöken testades olika doser och preparat av fungicider, dvs. svampdödande/hämmande bekämpningsmedel. Svampangrepp kan ge kostsamma skador i form av skördenedsättningar. Anledningen är att svampinfektionen leder till att fläckar med död bladvävnad bildas. Dessa fläckar ökar i storlek om bekämpning uteblir och kan i värsta fall leda till att beståndet vissnar ner. I slutet av både spannmålsens och potatisens tillväxtfas sker en kolallokering till det som sedan blir skörd och avsaluvara. Förenklat innebär detta att potatisens kolhydrater från fotosyntesen används för att bilda knölar och i höstvetet fylls kärnorna, i en fas kallad kärnfyllnad. Om växten vissnar finns inte längre någon fotosyntetisk aktivitet och energibildning. Följden blir att kärnfyllnaden får avslutas onaturligt och kärnorna, eller knölarna, blir små och lätta med låg betalning som följd.

De kostsamma följderna gör att bekämpning av svampsjukdomar är vanligt förekommande och ofta utförs utan att symptom finns. Dels för att svampinfektioner kan ske utan att ge för ögat synliga angrepp, men även för att vissa preparat enbart har en förebyggande effekt och inte någon läkande effekt. Eftersom angrepp kan spridas mycket fort i fält är det förödande om de inte upptäcks i tid. Resultatet av detta blir oundvikligen att stora mängder fungicider används utan att det egentligen behövs, vilket är negativt för både miljön och växtodlarens ekonomi. Från de tidigare nämnda försöken analyserades bildmaterial taget med en multispektral sensor monterad på en drönare. Den multispektrala sensorns nära infraröda (NIR)-band visade en god korrelation mellan den uppmätta ljusreflektansen och graden av bladmögelangrepp. Vid angrepp (<10%) visade resultaten på en ökande osäkerhet ju mindre angreppen var, vilket kan betyda att metoden inte är den bäst lämpade för att upptäcka de tidigaste angreppen i fält. Den fungerar däremot väl för att följa utvecklingen i fält över hela säsongen eller kartlägga mottagligheten för bladmögel i sortförsök med potatis. I höstvetet samlades bildmaterial in med en vanlig kamera. Från detta kunde ingen statistiskt säker korrelation ses mellan svampangrepp och bilddata. Däremot fanns en korrelation mellan bildmaterialet och andelen grön bladyta.

Förord

Detta arbete genomförts här under höstterminen 2016 som avslutande examensarbete i min utbildning till mark/växt-agronom.

Jag vill härmed tacka Alf Djurberg på Växtskyddscentralen i Linköping för manuell gradering av höstveteförsök och hjälp med tolkning av resultat och data. Jag vill även tacka min biträdande handledare Erland Liljeroth som bidragit med spetskompetens om potatis och bladmögelangrepp samt värdefullt material om UAV-baserad bladmögeldetektion under svenska förhållanden. Tack även till Pär-Johan Löf på Lantmännen R&D som fick arbetet att falla på plats i dess uppstartsfas och sedan bidrog med värdefulla idéer och inspel om hur arbetets resultat skulle kunna implementeras i praktiken.

Sist vill jag tacka min handledare Kristin Piikki för stort engagemang och värdefulla kommentarer under hela arbetet samt stor hjälp under delar med databehandling och resultatsammanställning. Hon har tillsammans med SLU Skara har visat ett stort intresse under arbetets gång och varit generösa med att både låna ut kontor och på flera sätt underlätta den del av arbetet som utfördes på plats i Skara.

Abbreviations/Förkortningar

Förkortning	Förklaring
BGRR	Blue Green Red Red
ENDVI	Enhanced Normalized Difference Vegetation Index
ExG	Excess Green
ExR	Excess Red
GIS	Geographical Information System
GPS	Global Positioning System
GRVI	Green Red Vegetation Index
IR	Infra-Red
LAI	Leaf Area Index
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near-Infrared
R^2	Determinationskoefficient
RGB	Red, Green, Blue (Sensortyp)
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VARI	Visible Atmospherically Resistant Index
VTOL	Vertical Take-Off and Landing

Innehållsförteckning

1	Inledning	9
2	Litteraturgenomgång	11
	Grundläggande för spektralanalys	11
	Att beräkna vegetationsindex	11
	Manuell gradering av angrepp	12
	Spektralanalys av angripen bladbiomassa	13
	De vanligaste vegetationsindexen	15
	Detektion av torkstress	16
	Bedömning av frukt- och grönsaksskörd	17
	Kartläggning av ogräsförekomst	17
	Hjälpmedel vid kvävegödsling	19
	Sjukdomar på stråsäd	20
	Potatisbladmögel	21
	Mätningar vid Örberga	26
	Mätningar vid Mosslunda	28
	UAS	29
	Datanalys	31
	Beskrivande statistik	34
	Regressionsanalys - alla band vid ett tillfälle	38
	Regressionsanalys - utvalda band för alla tillfällen	40
	Bedömning av sensor- och bildteknik	44
	Visualisering av individuella band	45
	Flygeffektivitetsberäkning	46
6	Diskussion	47
	Generellt för arbetet	47
	Sensordetektion av potatisbladmögel	47
	Att välja rätt dag för undersökningen	48
	Konkurrens om luftrummet på 24 meters höjd	49
	Sjukdomar och RGB-sensor	49
	Idéer för framtida forskning	50
7	Slutsatser	51
	Referenslista	52

1 Inledning

Precisionsodlingen tar hjälp av bland annat bilddata som beslutsunderlag för att styra insatser såsom gödsling av grödor och bekämpning av sjukdomsangrepp och ogräs. De bilder som används idag är i regel tagna med hjälp av satelliter. För vissa tillämpningar, exempelvis detektion av potatisbladmögel och svampsjukdomar i vete, är upplösningen i både tid och rum för låg, d.v.s. detaljer saknas och bilder tas för sällan för att kunna vara till underlag i beslutsfattandet om åtgärder. Här kan så kallade Unmanned Aerial Systems (UAS) fylla en viktig roll. Med dessa system möjliggörs regelbunden fältövervakning på låg höjd med en mycket hög upplösning, ner till 1 centimeter (Torres-Sánchez m.fl., 2013).

Sjukdomar i höstvet (*Triticum aestivum* L.) och potatis (*Solanum tuberosum* L.) kan orsaka stora skördesänkningar om de inte upptäcks i tid. Sjukdomar som orsakas av svampar kan infektera snabbt och på kort tid spridas till stora delar av fältet om förhållandena är gynnsamma. Under känsliga delar av växtsäsongen kräver fält noggrann och regelbunden tillsyn för att man snabbt ska kunna behandla begynnande angrepp. I potatis (och delvis även i höstvet) används prognosmetoder för att uppskatta behovet av en bekämpning, som baseras på väderlek och manuell inspektion av smitta i beståndet. Nackdelen med visuella undersökningar är att de sker på en slumpvis vald mindre yta (eller i praktiken ofta en bekvämt lättillgänglig yta) och inte över hela fältet. Den pågående storleksrationaliseringen i svenskt lantbruk medför att brukare odlar större arealer vilket ökar den tillsyn som krävs, samtidigt som det är svårt att veta vart i fält som angrepp uppträder först. Detta kan leda till osäkerhet och onödig användning av fungicider vilket är negativt för både miljö och ekonomi.

Behovet finns därför av en snabb och billig metod lämpad att undersöka stora arealer och hela fält. Användningen av UAS har på senare år snabbt ökat och med utvecklingen av optisk sensorteknik finns förhoppningar om en lösning. Genom att mäta reflektansen från beståndet är förhoppningen att angrepp som påverkar foto-

syntesen negativt men ännu inte är synligt för ögat kan upptäckas i en tillräckligt god tid för att en effektiv bekämpning ska kunna utföras. Möjligheten finns dessutom att skapa styrfiler som kan reglera dosen över fältet för att spara på fungicider där dessa inte behövs.

2 Litteraturgenomgång

Grundläggande för spektralanalys

Med spektralanalys kan flera olika karaktärsdrag hos växter urskiljas beroende på vilken våglängd som analyseras och mängden ljus som antingen absorberas, transmitteras eller reflekteras av bladbiomassan (Sankaran m.fl., 2015). Beroende på vilken typ av sensor som används kan olika egenskaper hos växten bedömas såsom sjukdomsangrepp och torkstress, klorofyll- och näringsinnehåll och en uppskattad skördepotential (Zhang och Kovacs, 2012). För att få ett samlat mått på reflektansens spektralfördelning som korrelerar med de grödeegenskaper som är av intresse kan flera olika vegetationsindex användas. Dessa lyfter ut specifika våglängder eller bredare våglängdsband och skiljer dessa från resten av insamlad data (Ray, 2011). Ett av de problem som finns med användningen av RGB-kameror (R=rött, G=grönt, B=blått) och sensorer för nära infraröd (NIR) strålning är att de kräver ett referensvärde eller en kalibrering som tar hänsyn till det aktuella dagsljuset, för att kunna räkna om det till reflektans. Om ingen referensmätning av inkommande ljus kan utföras blir resultaten otydliga och svårtolkade om variationen i solinstrålning mellan olika försök har varit för stor. Genom att använda kvoter mellan olika våglängdsband kommer man delvis ifrån det här problemet. (Sankaran m.fl., 2015)

Att beräkna vegetationsindex

Normalized difference vegetation index (NDVI) är ett av de vegetationsindex som är vanligast att använda. När NDVI beräknas görs det genom en ekvation där skillnaden mellan reflektansen av nära-infrarött ljus och synligt rött ljus beräknas och relateras till summan av reflektansvärden i de båda våglängdsbanden. Detta eftersom reflektansen av nära-infrarött ljus från växten minskar i ett dåligt bestånd

med sjuka växter medan rött ljus absorberas av friska växtdelar och reflekteras av nedvissnade eller sjukdomsangripna blad. Formler för de vanligaste vegetationsindexen går att se i Tabell 3. Värdet på NDVI rör sig mellan -1 och 1. Ju högre värde desto friskare eller fotosyntetiskt aktivare växt. Resultatet av vegetationsindexet blir generellt att vegetation (där det nära infraröda värdet ofta är större än det röda) får positiva värden, jord får negativa värden. För vatten och snö där reflektionen av rött och grönt är lika stora blir indexet lika med eller nära noll.

Manuell gradering av angrepp

När sjukdomar på potatis – främst bladmögel (*Phytophthora infestans*) – graderas i dessa sammanhang används en skala utvecklad av *European and Mediterranean Plant Protection Organization* (EPPO) och förfinad av Lars Wiik (Hushållnings-sällskapet; Tabell 1). Bestånd graderas i procent angripna blad mellan 0 – 100 %. Ett angrepp på 0 % innebär att inga angrepp har upptäckts i fält, 25 % anger att det finns skador på så gott som varje blad men utan att växten till sitt utseende har påverkats – bortsett från fläckar på blad. Vid en angreppsgrad av 50 % är alla plantor angripna och hälften av dess bladbiomassa har infekterats och dött. Vid en angreppsgrad av 75 % är mer än tre fjärdedelar av bladbiomassan förstörd och vid 100 % har samtliga växtdelar vissnat ner. (Sugiura m.fl., 2010)

Tabell 1. Beskrivning av den graderingsskala och som tagits fram av Bock m. fl. (2010).

Angreppsgrad (%)	Skada
0,00	Ingen skada synlig i parcellen
0,01	1 fläck per 50 plantor
0,02	2-4 fläckar per 50 plantor
0,03	5-10 fläckar per 50 plantor
0,05	11-40 fläckar per 50 plantor
0,1	En fläck per planta
1	10 fläckar per planta
5	50 fläckar per planta
25	Fläckar finns på varje småblad, plantan grön
50	Nedre blad har fallit av, hälften av övriga förstörda
75	Fältets färg grön-brunt, 75 % av bladen förstörda
95	Få kvarvarande gröna blad på plantan
100	Samtliga ovanjordiska växtdelar döda

Spektralanalys av angripna bladbiomassa

I försök gjorda på blad angripna av potatisbladmögel undersökte Ray m.fl. (2011) hur reflektansen i olika våglängdsband påverkades när olika stora delar av bladbiomassan var angripna. Försöken visade att reflektansen vid våglängder mellan 340 och 700 nm generellt varierade mycket lite. I de två synliga banden 400-500 (blått ljus) och 520-590 nm (grönt ljus) var skillnaderna mellan reflektansen hos friska och angripna växter små och inte följde någon tydlig trend. I det röda synliga bandet (620-680 nm) kunde man däremot se att bladbiomassa som var angripna till 25 % eller mer kunde urskiljas från mindre angripna blad genom att de hade en aning högre reflektans. Även Xie m.fl. (2015) fann att det mellan 400 och 750 nm (synligt spektrum) inte fanns någon statistiskt signifikant skillnad mellan reflektansvärden för friska och infekterade blad, vilket gör det svårt att dra säkra slutsatser från undersökningen. När författaren däremot undersökte reflektansen hos bladbiomassan i våglängder mellan 770-860 nm (far-red), framträdde mycket tydliga skillnader mellan blad med olika grad av angripna bladbiomassa, även hos växter med under 25 % angripna bladmassa. Ray m.fl. (2011) fann att särskilt 710, 720 och 750 nm var användbara och visade tydliga skillnader. Störst skillnad i reflektans kunde ses mellan friska och helt angripna (>98 %) blad. Detta orsakas enligt Xie m.fl. (2015) av att ljus med våglängder mellan 750 och 1000 nm påverkas av bladcellernas position och struktur. När strukturen i bladet kollapsar eller förändras på grund av infektion och angrepp ger detta ett genomslag i detta spektrum. En annan slutsats av Ray m.fl. (2011) är att hyperspektrala data är mycket användbara och överträffar multispektrala data på grund av de smalare våglängdsbanden som kan undersökas.

En multispektral sensor har 3 till 10 band, medan en hyperspektral sensor kan ha över 200 band, såsom NASA's *Hyperion imaging spectrometer*. Fler band tillåter en ökad detaljnivå och noggrannare undersökningar. Det kan däremot rent datamässigt vara svårt att hantera ett så stort antal band. (GIS Geography, 2016)

Sugiura m.fl. (2010) hävdar att RGB-sensorer i form av moderna digitalkameror bör utgöra tillräckligt bra underlag för sjukdomsidentifiering. Detta eftersom bladmögel på potatis orsakar mörka fläckar på blad, vilka växer och övergår till nekrotisk vävnad. Eftersom detta kan ses i det synliga ljusspektrat bör RGB-sensorer fungera för uppgiften om den endast innebär detektion av infekterade plantor, när dessa uppvisar symptom. Efter två försök i fält visade sig författarnas idéer vara korrekta, då graderingar utförda för hand och analyser från UAS-burna kameror visade sig ha en god korrelation, $R^2=0,73$. I försöket hade angreppsgraden

varierat mellan 0-100 % från den 15 juli till 14 augusti då de undersökta bestånden alla nått nära 100 % angrepp. Utrustningen var en UAV (HiSystems GmbH, Tyskland) med en Sony NEX-5N (Tokyo, Japan) som RGB-sensor.

De vanligaste vegetationsindexen

Vegetationsindex innebär att en ekvation beräknar förhållandet mellan uppmätt reflektans i olika våglängder från växter. Dessa index kan använda olika våglängder i beräkningen beroende på vilken sensor, gröda, och miljö som analysen används med eller i.

Tabell 2. Beskrivning av flera vegetationsindex efter Erena m.fl. (2016), Motohoka m.fl. (2010), Gitelson m.fl. (2002), och Torres-Sanchez m.fl. (2014). RGB= röd, grön blå. Multi = nära-infraröd, far-red och RGB kombinerat.

Förkortning	Sensor	Beskrivning/Funktion
NDVI	Multi	Normalized Difference Vegetation Index
VARI	RGB	Visible Atmospherically Resistant Index
GRVI	RGB	Green Red Vegetation Index
ENDVI	Multi	Enhanced Normalized Difference Vegetation Index
ExG	RGB	Excess Green
ExR	RGB	Excess Red
SAVI	Multi	Soil Adjusted Vegetation Index

Tabell 3. Formler för beräkning av några av de vanligast förekommande vegetationsindexen, efter Erena m.fl. (2016), Motohoka m.fl. (2010), Gitelson m.fl. (2002), och Torres-Sanchez m.fl.. NIR=nära infrarött, R=röd, G=grön, B=blå, L=korrektionsfaktor för reflektans från jordyta.

Förkortning	Beräkningsformel
NDVI	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$
VARI	$VARI = \frac{G - R}{G + R - B}$
GRVI	$GRVI = \frac{G - R}{G + R}$
ENDVI	$ENDVI = \frac{(NIR - G) - (2B)}{(NIR + G) + (2B)}$
ExG	$ExG = 2G - R - B$
ExR	$ExR = 2R - G - B$
SAVI	$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} * (1 + L)$

Drönarburna sensorer har flera fördelar jämfört med att undersöka fält och genomföra graderingar för hand och från marken. Fält med hög och kraftig biomassa gör det svårt att få en överblick över beståndet, men även graderingar i stråsäd kan vara önskvärda att utföra utan att beträda fältet, t.ex. om beståndet är fuktigt efter regn. UAV framstår här som ett intressant alternativ och erbjuder en lösning på det flaskhalsproblem som utvärdering av växtmaterial för hand har inneburit för växtförädlingsarbetet (Sankaran m.fl. 2015).

Detektion av torkstress

Inom växtförädling är torktålighet och effektivt vattenutnyttjande områden inom vilka det sker mycket förädling. Torkstress innebär att det tillgängliga vattnet är hårdare bundet i marken än vad växten klarar av att ta upp, vilket medför stängning av stomata och reducerad transpiration. Detta resulterar i en sänkt fotosyntetisk aktivitet och även risk för värmestress som orsakas av den låga eller helt uteblivna transpirationen (Sankaran m.fl. 2015).

Chapman m.fl. (2014) visade att tekniken kan fungera som ett hjälpmedel för att effektivisera urvalet av torkresistent växtmaterial i ett försök med sockerrör där bildmaterial insamlat med hand- respektive UAV-buren IR-kamera jämfördes. För att förtydliga bilderna maskerades värmestrålningen från marken och döda blad bort, detta genom att klippa bort områden från bilderna med en registrerad temperatur över 50 °C. En nackdel med UAS var att de bilder som produceras med de flesta IR-kameror har en låg upplösning (640×480 pixlar), vilket skulle kräva en låg flyghöjd, ca 20 m, för att erhålla en mosaik med tillräcklig hög upplösning och därmed medföra en, i förhållande till andra UAV-burna sensorer, mycket låg effektivitet.

Jones m.fl. (2009) undersökte odlingar av ris (*Oryza sativa* L.) och vindruvor (*Vitis vinifera* L.) där IR-kameror användes för att undersöka vilken påverkan vattenstress fick på växternas bladverk. Författarna fann likt Chapman m.fl. (2014) en mycket stor potential för denna teknik. Jones m.fl. (2009) nämner också att solinstrålningen kan ha stora variationer på olika blad hos samma växt. Ju tjockare bladverk desto mer kommer direkt infallande ljus att minska och bytas ut mot ökande diffus strålning när ljuset som når blad längre ner i bladverket analyseras. Även bladvinkeln har betydelse, då en bladvinkel som är vinkelrät mot solljuset kräver en större transpiration som en följd av en större mängd direkt solljus och större värmeutveckling, jämfört med en liten bladvinkel, med mindre vinkelrät solinstrålning och lägre temperatur som följd. Huvudförfattaren visade tidigare att

även om en IR-kamera inte kan visa klyvöppningarnas absoluta öppningsgrad, så kommer stomatas öppning att vara det som i alla miljöer styr bladets temperatur och således finns en mycket stark korrelation mellan stomatas öppningsgrad och bladtemperaturen (Jones, 2004).

Bedömning av frukt- och grönsaksskörd

Att bedöma skördepotential och dess inomfältvariationer kan vara besvärligt i odlingar av frukt- och grönsaker. Växterna är högre än spannmålsgrödor och för att se frukten manuellt krävs en noggrann inspektion av växterna. Även då kan en bra uppskattning vara svår att göra, då täckande blad och stjälkar kan hindra frukter från att upptäckas. Senthilnath m.fl. (2016) utvecklade därför en metod för att möjliggöra säkrare skördeuppskattningar i tomatodlingar. Genom att med en UAV utrustad med RGB-sensor ta bilder och sedan tilldela varje pixel ett värde - i detta fall *tomat* eller *ej tomat* - skapades en svart-vit bild där pixlar med värdet *tomat* var vita. För att sortera bort falska pixlar (eller falska *tomater*) användes två efterföljande metoder. I det första steget analyserades det rumsliga avståndet och alla positiva pixlar som saknade pixlar i sin direkta närhet med samma värde (*tomat*) togs bort. Efter detta första moment fanns det fortfarande falska pixlar kvar, som nu förekom i grupper och ofta var ett resultat av stjälkar som reflekterade samma våglängder som en omogen tomat. Författarna lät därför sortera ut de grupper med pixlar som hade en kvot mellan Y- och X-led som var lika med eller nära 1, detta då tomater sett ovanifrån uppträder som cirklar (Senthilnath m.fl., 2016).

Kartläggning av ogräsförekomst

Torres-Sánchez m.fl. (2013) använde två typer av sensorer (RGB och BGRR-NIR) som monterades på en UAV. Här används programvaran Agisoft Photoscan Professional Edition för att sy ihop de tagna bilderna och positionera dem på rätt ställe i den mosaik som bildades. En av slutsatserna var att en låg flyghöjd var nödvändig för att få ett material som var lämpligt för ogräsidentifiering. Med en flyghöjd på 30 meter gav RGB-kameran en upplösning på drygt 1 centimeter per pixel. I flygriktningen hade bilderna ett överlapp på 30 % och även åt sidorna var överlappet 30 %. Vilken pixelstorlek som är nödvändig bestäms av hur stor den ogräsplanta som ska upptäckas är. Accepteras större groddplantor kan större pixlar användas, en högre flyghöjd är möjlig och en högre kapacitet kan erhållas. Därtill spelar radavstånd och gröda in eftersom större radavstånd gör det enklare att upptäcka gröna fläckar (ogräsplantor) mellan raderna. Författarna fann att en pixelstorlek på 1-4 centimeter var nödvändig för att kunna upptäcka enstaka ogräsplantor. För den RGB-kamera som användes (Olympus PEN E-PM1, Olympus Corpo-

ration, Tokyo, Japan) motsvarade det 27-105 meters flyghöjd, och för den multispektrala sensorn (Tetracam mini-MCA-6, Tetracam Inc., Chatsworth, CA, USA) krävdes en flyghöjd på 19-74 meter. (Torres-Sánchez m.fl., 2013)

Torres-Sánchez m.fl. (2013) fann att NDVI (d.v.s. en multispektral sensor) var det som fungerade bäst för att skilja jord från vegetation, även om bägge sensorerna fungerade för uppgiften. Detta då NDVI bygger på NIR-bandet och det är just detta som tydligast urskiljer vegetation och fotosyntetiserande vävnad.

För att skilja gröda från ogräs var RGB-sensorer inte tillräckliga att använda. Med den multispektrala (NIR) sensorns bildmaterial var det möjligt att skilja ogräs från gröda på både 30, 60 och 100 meters höjd. Enligt författarna (Torres-Sánchez m.fl., 2013) kan en anledning vara att de smalare banden som NIR-sensorn registrerar (10 nm) löper mindre risk att utsättas för störningar från andra våglängder än de tre breda banden som tas in med en RGB-sensor. På 30 meters höjd kunde RGB-sensorns bildmaterial användas för att skilja på jord, gröda och ogräs, även om det fanns ett överlapp mellan värden för ogräs och gröda vilket skulle kunna orsaka felaktiga resultat. När RGB-sensorer användes beräknades vegetationsindexet ExG (Tabell 2-3; Torres-Sánchez m.fl., 2013).

Börjesson m.fl. (2008) använde en RGB-sensor (Nikon D70) i ett försök att ta fram en metod för att kartlägga ogräsförekomsten i samma moment som ogräsbekämpning utfördes och att dessutom styra dosmängden efter bildanalysen. Man använde ExG (Tabell 2-3) för att skilja jord från vegetation och en efterföljande bildanalys för att avgöra ogräsens art och storleken på de ogräsplantor som skulle bekämpas. Man fann att resultatet från bildmaterial ofta stämde med de manuella undersökningarna av ogräsförekomsten. Försöket utfördes på flera platser i Sverige och på två av dessa kunde preparatanvändningen minska med 11 respektive 30 % från rekommenderad dos. Med målet att kunna genomföra analyserna i realtid utvecklades analysmetoden löpande under arbetets gång och vid arbetets slut tog det 20 sekunder att utföra en bildanalys. Författarna menade att detta inte var snabbt nog för att styra dosen i samma överfart. Däremot fann man att ogräsförekomsten i stort följde samma variation inom fältet som dess jordart, vilket skulle kunna medföra att en markkartering till viss del kan ligga till grund för en platsanpassad ogräsbehandling.

Meyer och Neto (2008) gjorde försök med ExG där det visade sig fungera för att urskilja groddplantor av soja (*Glycine max* L.) med två utvecklade blad från en bar jordyta. Däremot har vegetationsindexet haft svårt att skilja växter från andra typer av bakgrunder såsom olika typer av växtrester som majs- och vetestubb. I dessa

försök visade sig ExG och ExR kombinerat (Tabell 2-3) vara överlägsna index som i större utsträckning lyckades skilja växter från både bar mark och växtrester i form av halm i samtliga försök och uppvisade inte heller några ”falska pixlar”, dvs. att stubbrester visades som gröna växtdelar eller tvärtom.

Castro m.fl. (2011) använde en multispektral sensor (B, G, R och NIR) i försök att se ogräs i form av senapsväxter (*Diplotaxis spp*) i höstvetete och trindsäd (bondböna, *Vicia Faba* L.). Resultaten visade på god korrelation mellan det undersökta bildmaterialet (RGB+NIR) och manuellt utförda graderingar. Från bildmaterialet kunde styrfiler skapas för efterföljande ogräsbekämpning. Försöken gjordes i grödor som var gröna och i tillväxt, bildmaterialet var taget i början av april och skörden äger normalt rum i maj-juni enligt Curtis (1996). Sandsenapen (*Diplotaxis tenuifolia* L.) var vid denna tidpunkt i tidig eller full blomning. Detta medförde en tydlig kontrast i bildmaterialet då sandsenapens gula blommor gick att urskilja från det gröna bladverket med en traditionell RGB-sensor. Resultaten från bildmaterialet överstämde till 85 % för höstvetete och 99 % för trindsäd med den faktiska förekomsten. Genom att använda det skapade bildmaterialet som underlag till en styrfil inför kommande ogräsbehandling och tillåta utebliven behandling på områden där ingen sandsenap hade upptäckts kunde herbicidanvändningen minska med mellan 71 och 94 %, där lägre doser vid låg ogräsförekomst ger den högre siffran. (Castro m.fl. 2011)

Hjälpmedel vid kvävegödsling

Att uppskatta grödans innehåll av kväve var en av de första tillämpningarna som UAV-burna RGB-sensorer användes till. En varierande kvävetillgång över fältet leder till tydliga färgskiftningar hos några av de vanligaste grödorna i Sverige, såsom spannmål och raps. Dessa färgskiftningar kan urskiljas med en enkel RGB-sensor. Variationer i kväveinnehåll blir tydligast vid ca 550 nm (vilket faller inom det gröna våglängdsområdet) enligt Xie m.fl. (2015). Schirrmann m.fl. (2016) menar att det röda bandet är viktigast, vilket börjar först vid 550 nm och har sitt maxvärde runt 620 nm. Schirrmann m.fl. (2016) använde en RGB-sensor (Sony NEX 7, Tokyo, Japan) för att undersöka kväveinnehåll och bladyteindex (LAI), färsk- samt torkad biomassa och växthöjd i höstvetesorten Linus. Försöket utfördes i ett fält på 11 ha som drabbats av torka. Manuella undersökningar utfördes i 20 testytor på 1 meter × 1 meter. Det fanns en korrelation mellan värden extrahärade från bildmaterial taget i blomningsstadiet och det uppmätta kväveinnehållet i testrutorna, med ett R^2 -värde på 0,65 som bäst. Denna tidpunkt får dock ses som sen för tilläggsgödsling av vete. Variationen för fältets övriga variabler (LAI, växthöjd samt biomassa) stämde väl överens den rumsliga variationen i mosaikens

index och resulterade i R^2 -värden mellan 0,70 och 0,97. Slutsatserna från detta försök var att RGB-sensorer i fortsättningen bör användas till att undersöka kväve-innehåll i fält med större variationer och att hyperspektrala sensorer bör användas för att undersöka grödor som drabbas av torkstress. (Schirrmann m.fl., 2016)

Sjukdomar på stråsäd

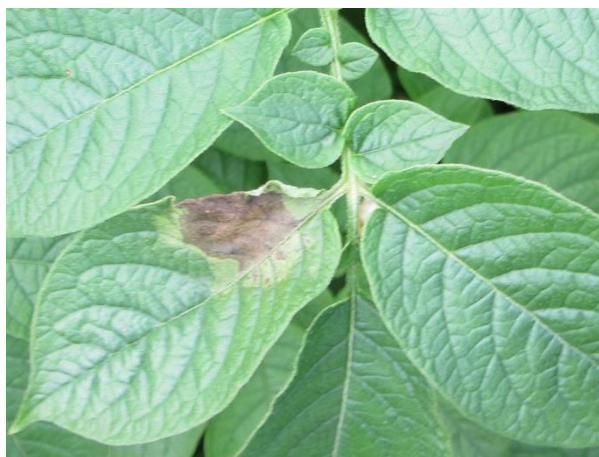
Likt potatisbladmögel finns flera sjukdomar på stråsäd som orsakar färgskiftningar på blad och resulterar i nekrotiska fläckar. Moshou m.fl. (2004) utförde försök där bilder togs på friska bestånd och bestånd angripna av gulrost (*Puccinia striiformis*) med upp till 8 % angrepp med ett medel på 4,5 %. Bilderna togs på 25 och 75 centimeters avstånd på blad 4 och 5 räknat ovanifrån, där endast blad 5 uppvisade symptom. NDVI-index användes för att tydliggöra skillnader i beståndet. Resultaten i detta försök var positiva och man lyckades nå mellan 95 och 99 % säkerhet i prediktionen av frisk eller infekterad vävnad. Viktiga komponenter för att lyckas med denna typ av spektralanalys är enligt författarna hög upplösning på bildmaterialet och därtill en normalisering av bildmaterialet. Normaliseringen sker genom att ta hänsyn till och korrigera insamlad data (bilder) efter variationen i solinstrålning mellan datainsamlingar. Detta för att undvika ”falska” färgvariationer orsakade av växlande solljus och skugga under tiden för datainsamling. (Moshou m.fl., 2004).

Potatisbladmögel

Potatis odlas på < 1 % av Sveriges totala åkerareal (SJV Statistisk årsbok 2013) men står samtidigt för en tredjedel av landets fungicidanvändning (Eriksson m.fl., 2016). Anledningen till att potatis besprutas så kraftigt är den stora skördesänkningen som ett tidigt angrepp av potatisbladmögel medför. Det vanligast förekommande exemplet på allvarliga angrepp av potatisbladmögel brukar vara den massvält som den orsakade på Irland under 1800-talet (Andersson och Sandström, 2000). I stora delar av världen används fungicidbehandlingar i förebyggande syfte, d.v.s. innan växten uppvisar symptom på infektion. Samtidigt genomförs stora ansträngningar inom växtförädlingen för att ta fram nya sorter som är motståndskraftigare mot potatisbladmögel. Inom dessa områden skulle UAV-buren sensor-teknik kunna underlätta genom att kunna kartlägga förekomsten av infektioner i fält och bland uppförkningsmaterial. På så vis kan fungicider användas först när och på den plats de behövs, samtidigt som urvalet av det tåligaste växtmaterialet i förädlingsprocessen – vilket är mycket tidskrävande – effektiviseras avsevärt (Sugiura m.fl., 2016).

För att minska denna stora fungicidanvändningen i potatis har försök gjorts på senare tid där man har undersökt huruvida reducerade doser, något som tidigare befarats öka angreppen, leder till svårare och aggressivare angrepp av bladmögel (Jönsson och Olsson, 2015). Detta försök visade att reducerade doser varken orsakade ökad aggressivitet eller ökad fungicidtolerans. Man fann att dosen spelar en mindre roll i sammanhanget, det viktiga är att nå en hög bekämpningseffektivitet genom att använda lämplig utrustning och att utföra insatsen i rätt tid.

Bladmögel orsakas av oomyceten *Phytophthora infestans* som leder till minskad skörd och lagringssvårigheter då knölarna blir känsliga och vid en oriktig förvaring lätt kan bli oätliga. Enligt Ray m.fl. (2011) orsakar *P. infestans* en skördesänkning motsvarande 15 % av världens totala potatisproduktion, vilket motsvarar cirka 60 miljoner ton potatis (FAOSTAT, 2008).



Figur 1. Fläck från potatisbladmögel.

Foto: Erland Liljeroth

Eftersom smittan överlever i både jord och knölar, finns det risk att bestånd utsätts för smitta både från utsäde och från den jord som utsädet sätts i. Infektionsrisken ökar vid fuktig väderlek då sporer kan stänka upp från smittad jord upp på friska blad och därifrån både infektera bladet och röra sig längre upp i beståndet med nästa regnstänk. Infektion av potatisbladmögel visar sig först genom gröna och vattniga, oregelbundna fläckar nära bladets spets eller kanter (Figur 1). Vartefter fläckarna växer skiftar de färg till brunt för att till sist bilda svarta, nekrotiska fläckar med död bladvävnad. (Ray m.fl. 2008)

Under optimala förhållanden, vilket är varma och fuktiga dagar, kan tiden mellan infektion till spridning av sporer vara så kort som tre dagar. Detta medför att potatisfält kan behöva besprutas med fungicider två till tre gånger i veckan (Andersson och Sandström, 2000). I de fall där bekämpning har uteblivit under optimala väderförhållanden för infektion har det förekommit att hela bestånd har angripits och dött inom loppet av en vecka (Ray m.fl., 2008). Det kan även vara aktuellt med blastdödning en tid innan skörd för att minska risken för uppförökning av smittan. Bladmögel visar sig ofta i de fuktigare eller dåligt dränerade områdena på fältet och dränering liksom god kupning kan hämma dess tillväxt, genom att minska fuktiga områden som svampen trivs i och minska zoosporernas möjlighet att tränga ner till knölarna (Andersson och Sandström, 2000).

För att försöka förutse när angrepp av potatisbladmögel kommer att ske finns idag prognosmetoder som baseras på lufttemperatur och tiden som bladverket är fuktigt. Var dag tilldelas mellan noll och fyra poäng, ju högre temperatur och fler timmar under dygnet som bladen är fuktiga, desto högre tilldelas dygnet. Poängen börjar räknas från potatisens uppkomst, och när 18 poäng har ackumulerats rekommenderas det att en behandling utförs enligt Blitecast-modellen. (UW Vegetable Pathology, 2013). I Sverige börjar man testa den danska modellen Skimmelstyrning, vilket är en metod som tar hänsyn till sortens resistens, förekomsten av bladmögel i fältet och det lokala vädret (Jönsson och Olsson, 2015).

Tillsammans med prognosmetoder finns ett behov av att i ett tidigt stadium kunna följa utvecklingen i fält både av angripna plantor och av de områden som kan tänkas påverkas av infektionen (Ray, 2011). Svenska försök har gjorts att se angrepp av potatisbladmögel med UAV-buren RGB-sensor. Utanför Kristianstad genomförde Alexandersson och Liljeroth (2015) fyra fotograferingar av ett fält under olika tidpunkter under säsongen, från första juli till andra september. Beståndets angrepp uppskattades till 0,1 % vid första graderingen och i slutet fanns inga gröna växtdelar kvar, vilket orsakats av både bladmögel och naturlig nedvissning.

Man fann vid den andra och tredje fotograferingen en god korrelation mellan graderade angrepp och analysen av det insamlade bildmaterialet. Författarna vidhåller däremot att denna teknik fungerar bra för att se pågående angrepp, men är syftet att kunna se begynnande angrepp kommer en annan typ av sensor (multispektral) att krävas och/eller tätare genomförande av flygning och fotografering (Alexandersson och Liljeroth, 2015).

För att kunna urskilja begynnande angrepp av potatisbladmögel (under 25 %) från friska blad (0 %) enligt skalan från Bock m.fl. (2010) visade Ray m.fl. (2011) att de bäst lämpade våglängderna för undersökningen är 710, 720 och 750 nm. Slutsatsen som författarna drog var att i spannet mellan 0 och 25 % angrepp har inte växten tillräckligt stora och/eller tydliga skador på bladen, de har fortfarande en grön färg (dvs har en hög klorofyllhalt och absorberar mycket rött ljus) och cellstrukturen har inte påverkats. För att skador ska kunna upptäckas av sensorer som använder det synliga ljuset krävs tydligare färgskiftningar, varför man vill använda våglängder längre än 700 nm för att upptäcka begynnande angrepp (Ray m.fl., 2011).

3 Syfte

Arbetets syfte var att se om begynnande angrepp av svampsjukdomar kan ses på bilder tagna med RGB-kamera eller med multispektral sensor och i vilka våglängdsband som angreppen blir tydligast. Ett övergripande mål med arbetet var att det sedan skulle kunna användas som ett underlag inför såväl bildanalys som val av sensor för den som är intresserad av att påbörja undersökningar likt de som genomförts i detta arbete. Undersökningar gjordes av bladmögel i potatis och svampsjukdomar i stråsåd, med målet att se främst gulrost och bladfläcksjuka (*Drechslera tritici-repentis*).

Mer specifikt gjordes följande:

1. En litteraturstudie av de UAV-tillämpningar som utvecklats och används idag och är intressanta för vidare tillämpning av drönarteknik inom växtodling.
2. Mätningar med en RGB-kamera i två växtskyddsförsök i vete (enbart resultat från det försök som mättes vid fem tillfällen användes). Dessutom användes data från fotograferingar med en RGB-kamera samt en multispektral sensor i potatis (fem tillfällen).
3. Regressionssanalys mellan reflektans och olika våglängdsband samt olika vegetationsindex och graderade angrepp av svartpricksjuka i vete (band och index: R_{DJI} , G_{DJI} , B_{DJI} , GRVI) eller graderade angrepp av bladmögel i potatis (band och index: R_{Sony} , G_{Sony} , B_{Sony} , GRVI, $R_{Micasense}$, $G_{Micasense}$, $B_{Micasense}$, Far-red_{Micasense}, NIR_{Micasense} och NDVI)
4. En visuell jämförelse av enskilda bilder och mosaiker gjordes för den kamera som höll högst upplösning (Sony RX-100).
5. En simuleringsstudie gjordes av hur man kan utforma flygningar med de två drönarna Exporian 8 och DJI Phantom 3 Professional. Olika möjliga

kombinationer av flyghöjd, bildupplösning och delvis även täckt yta sammanställdes för farkosternas batteritider.

4 Material och metoder

Mätningar vid Örberga

Under sommaren 2016 genomfördes flera mätningar i höstvetefält med drönarburen RGB-kamera. Platserna var Örberga utanför Vadstena och Skälsund öster om Norrköping, se Figur 2. Datainsamlingar gjordes 8 och 19 juni samt 4, 10 och 28 juli, vilket detta år motsvarade mätningar från DC 59 (hela axet ur holk) till DC 90 (tidig skördemognad enligt Zadoks m.fl., 1974). Försöket vid Örberga graderades samtliga av dessa datum medan Skälsund endast undersöktes 8 och 19 juni. Den manuella graderingen utfördes av Växtskyddscentralen i Linköping, enligt riktlinjer som de själva kallar för *Dansk gradering*. Försöket vid Skälsund avbröts eftersom de första datainsamlingarna inte lyckades täcka alla parceller, men också på grund av Skälsund ingår i en kontrollzon tillhörande Norrköpings flygplats. Detta medförde att det var svårt att få tillstånd att flyga under de ca 20 sammanhängande minuter som krävdes för att genomföra en fältskanning.



Figur 2. Beskrivning av orterna Örbergas (t.v.) och Skälsunds (t.h.) positioner i Östergötland. Bakgrundskarta: National Geographic, Esri, DeLorme, HERE, UNEP-WCMC, USGS, NASA, ESA, METI, NRCAN, GEBCO, NOAA och Increment P Corp.

För ruttplanering inför UAV-flygningen användes online-tjänsten www.dronedeploy.com (Dronedeploy, San Francisco, USA) där den yttre gränsen av det aktuella området som skulle undersökas ritades upp. Efter det skapar programvaran egna körspår (på vilka vinkeln kan justeras) som en UAV följer. Flyghöjden sattes till 24 meter (80 fot), överlappet mellan bilder i sidled sattes till 50 % och överlappet i färdriktningen sattes till 70 %. Detta skulle enligt beräkningar gjorda av DroneDeploy ge en teoretisk upplösning av 1,4 centimeter/pixel.

Vilken höjd som programmet beräknar att bilderna ska tas på påverkas av flera faktorer. Används en kamera med liten linsvinkel kan flera bilder och tätare avstånd mellan flygkorridorer krävas för att nå det önskade överlappet. Lägre flyghöjd medför högre upplösning men sänker effektiviteten drastiskt då flera bilder per hektar krävs och arealen som kan undersökas kommer till slut att begränsas av UAS-farkostens batteritid. Vid en låg flyghöjd bör dessutom risken för skillnader i solinstrålning beaktas, vilket kan göra ett dataset oanvändbart. Hög höjd minskar risken för variationer i solinstrålning och kräver färre bilder per hektar, men medför en lägre upplösning.

I detta arbete togs bilder med automatik och kamerainställningen sattes till automatiskt läge vilket innebär att den styrande applikationen automatiskt justerar sensorinställningar för kameran ombord. Att använda denna lösning med en drönare där det finns en integrerad kamera har flera fördelar. Bilder kan tas med antingen tidsinställd utlösare eller fjärrstyrd utlösare, så länge som kontakt finns mellan sändare och farkost, vilket i teorin är möjligt i upp till 3 kilometer. Svensk lag tillåter dock inte att en UAV befinner sig mer än 500 meter från operatören, utan särskilda tillstånd. Varje bild är tack vare en 3-axlig kamerastabilisering (3 st borstlösa motorer och gyro) vinkelrät mot marken och förses dessutom med metadata som underlättar efterföljande analys, bland annat GPS-koordinater, färdriktning och höjddata.

Varje fältskanning resulterade i ca 250-300 bilder som sparades på ett minneskort ombord. Detta material fördes över till en dator och laddades sedan upp i tjänsten Solvi (Solvi AB, Partille, Sverige). I tjänsten skapades GRVI- och VARI-index (Tabell 2-3), för var och ett av dataseten, med en pixelstorlek på 4 cm × 4 cm.

Mätningar vid Mosslanda

Mosslanda gård ligger ca 5 km söder om Kristianstad (Figur 3). Här gjordes under 2016 bland annat ett försök i potatis där man undersökte bekämpningsmetoder med fokus på en kombination av fungicider och gödselmedel (Proalexin) och utförde graderingar av bladmögel i stärkelsesorten Kuras. Fälten graderades enligt samma metod som tidigare använts av Bock m.fl. (2010) och skapats EPPO men förfinats av Lars Wiik, se Tabell 1.

Bildmaterial insamlades den 20 juni, 14 juli, 19 juli, 27 juli, 9 augusti och 17 augusti. Varje dag som bilddata insamlades över försöket utfördes två flygningar, på 22 respektive 44 meters höjd. Vid båda dessa flygningar användes två sensorer, en multispektral kamera och en RGB-sensor. Rutten planerades i programvaran UGCS (SPH Engineering, Riga, Litauen). För den multispektrala sensorn användes 80 % överlapp i flygriktningen samt i sidled på 22 m höjd, och 70 % åt bägge håll på 44 m höjd. Den monterade RGB-sensorn hade en högre upplösning och fick därför ett större överlapp, då den multispektrala sensorn fick bestämma inställningarna för flygningens ruttplanering.



Figur 3. Karta som visar försöken på Mosslandas position i östra Skåne. Bakgrundskarta: National Geographic, Esri, DeLorme, HERE, UNEP-WCMC, USGS, NASA, ESA, METI, NRCAN, GEBCO, NOAA och Increment P Corp.

För att minimera risken för avvikande värden orsakade av kantzoner graderades inte hela parcellen. Av de fem raderna med potatis graderades de tre som fanns i mitten, och 50 centimeter närmast var kant uteslöts. Se Figur 4 för att se hur stor del av den egentliga parcellen som graderades.



Figur 4. Den inre, ljusa ytan visar den del av parcellen som graderades.
De gröna linjerna visar potatisrader.

UAS

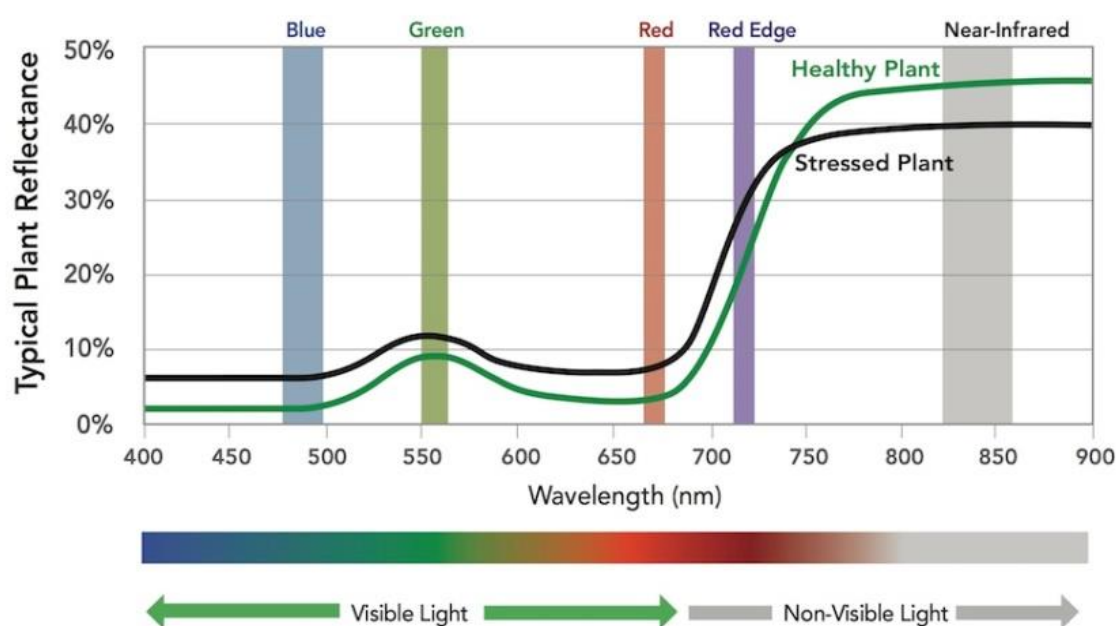
Vid Örberga insamlades bilddata med en DJI Phantom 3 Professional (DJI, Shenzhen, Kina). Kameran ombord är integrerad med en f/2.8-lins och linsvinkel på 94°.

Från försöket vid Mosslunda erhöles bildmaterial från SLU, Skara. Materialet var taget med en MicaSense Rededge™ (MicaSense, Seattle, USA; Tabell 4 och Tabell 5) monterad på en Explorian 8 (Pitchup AB, Mölndal, Sverige). Monterad var även en Sony-kamera (SONY RX-100, Tokyo, Japan) vars bilder hade en högre upplösning än de från RedEdge-kameran, men saknade band för Far-Red och NIR.

En del problem uppkom dock vid skapandet av mosaiker från bildmaterialet från Mosslunda, vilket medförde att kompletta mätdata från Micasense- sensorn endast fanns 20 juni, 14 samt 27 juli och 9 samt 17 augusti. För RGB-kameran (Sony) fanns kompletta data för 14 juli och 27 samt 17 augusti.

Tabell 4. Våglängdsband hos MicaSense RedEdge-sensorn. I mosaikerna växades dock platsen på band 4 och 5 av det använda systemet (ATLAS), vilket medför att i mosaiker är band 5 = NIR och band 4 = Red-edge.

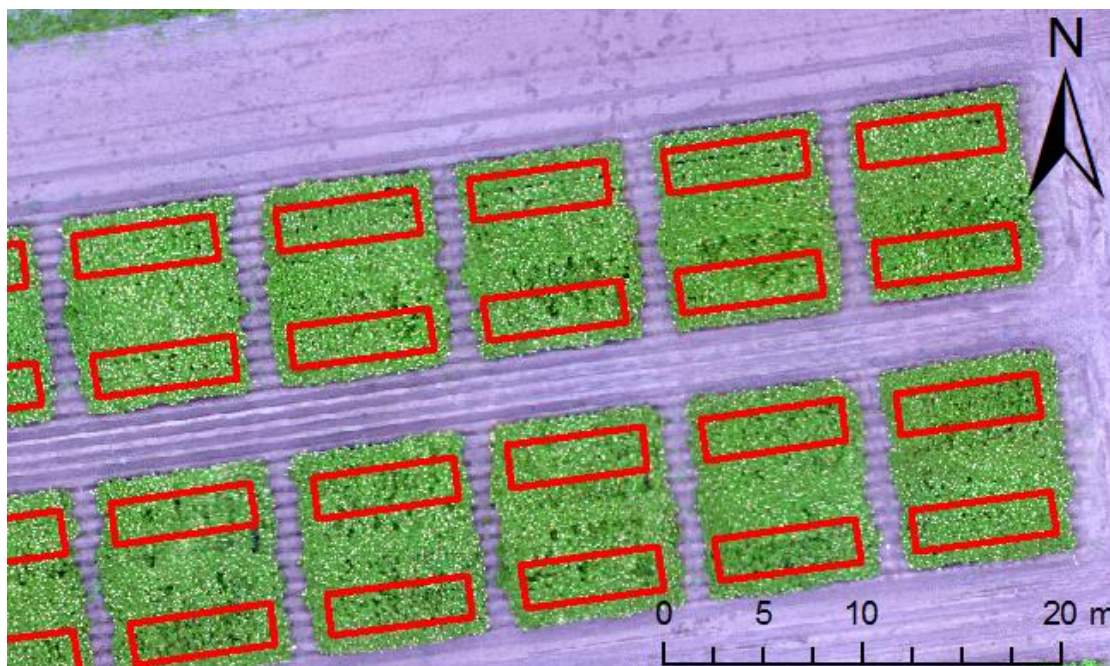
Band	Förkortning	Beskrivning	Våglängd (nm)
1	B	Blått	475-500
2	G	Grönt	550-560
3	R	Rött	665-675
4	NIR	Nära-Infrarött	825-860
5	Far-Red	Red edge	710-720



Figur 5. Banden som ingår i MicaSense RedEdge-sensorn. I figuren syns även reflektansens förväntade variation över våglängderna för en frisk (grön linje) och en sjuk växt (svart linje).

Datanalys

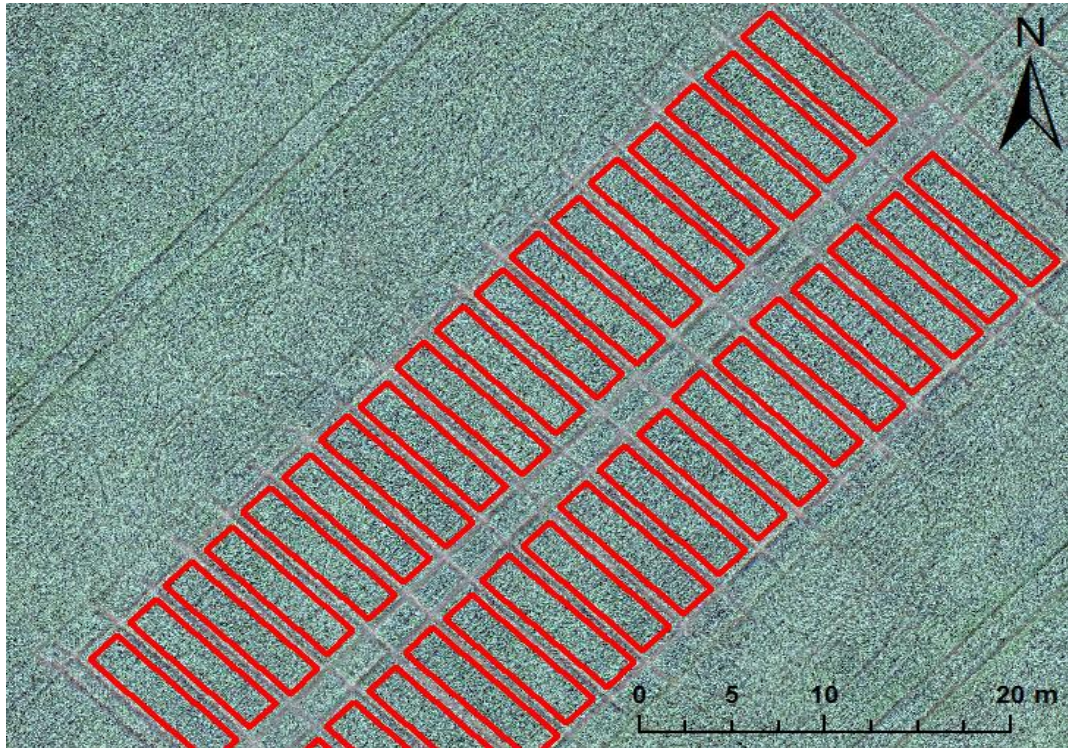
Bildmaterialet från försöken med potatis vävdes samman till en mosaik med MicaSense's egen molntjänst ATLAS. Mosaiken hade en upplösning av 3 cm/pixel och importerades i programmet ArcMap (ESRI, Redlands, CA, USA) med SWEREF 99 TM som koordinatsystem. Var mosaik från Micasense-sensorn innehöll reflektansvärden för de fem banden (B, G, R, Far Red och NIR) som var för sig importerades i ArcMap. Vid bildinsamlingen användes en referensplatta av Spectralon® som sensorn tog en bild på innan respektive efter flygningen. Bilden på referensplattan användes av molntjänsten (ATLAS) för att räkna om det registrerade ljuset för dagen till en reflektans. Bandens fördelning och våglängder ses i Figur 5 och Tabell 4. Det skapades 48 st polygonfiler (4 block \times 12 led) i ArcMap, en för var och en av de rutor som var med i försöket och hade graderats, se Figur 6. Dessa polygoner användes senare som avgränsning för extrahering av data från parcellerna. Syftet med dessa var alltså att undvika de två yttre raderna och 50 cm på var kant som inte hade ingått i den manuella graderingen.



Figur 6. Polygonerna i bilden visar graderade ytor från vilka reflektansvärden extraherades. Från norr till söder ses block 1, 2, 3 och 4.

Då en RGB-sensor användes på både Mosslanda och Örberga fanns tre band – rött, grönt och blått. För analysen beräknades vegetationsindexet GRVI (Tabell 2-3), där det röda och gröna bandet används. Från försöket på Örberga skapades en

polygon per parcell (Figur 7), med ett litet indrag (20 cm) från kanten för att undvika effekter från kantzonen. Mosaiken bildades här av onlinetjänsten Solvi. Totalt fanns 36 parceller (4 block \times 9 led).



Figur 7. Polygonernas utformning och placering vid höstveteförsöket på Örberga. Ur dessa extraherades sedan reflektansvärden för parcellerna.

Var och en av polygonerna tilldelades ett unikt namn och angavs som avgränsande lager när verktyget *Zonal statistics as table* användes för att extrahera statistik från vart och ett av mosaikens band (3 eller 5 st). Med hjälp av ArcMap's verktyg *Raster to float* kunde ett raster (d.v.s. mosaiken i detta fall) tillåtas att innehålla värden med decimaler (tidigare endast heltal). Detta krävdes för att senare kunna beräkna ett index. Float-verktyget användes på band 5 (NIR) och band 3 (R) för den multispektrala sensorn. För RGB-sensorerna användes verktyget istället på band 1(R) och 2(G). Med verktyget *Raster calculator* kunde därefter NDVI för Mosslanda och GRVI för Örberga beräknas. (Tabell 2-3).

Statistiken exporterades som dBase-filer och kunde sedan öppnas i MS Excel där ett medelvärde för reflektansen i det aktuella bandet kunde kopplas till varje parcell. I MS Excel användes verktyget *Regression* i paketet *Data Analysis* för att utföra statistiska beräkningar. Reflektansvärden från de enskilda banden och vege-

tationsindexen kopplades samman med data från manuella graderingar utförda i försöken. På Mosslanda jämfördes reflektansvärden med graderad förekomst av bladmögel. På Örberga jämfördes de istället med förekomsten av svartpricksjuka (*Septoria tritici*), graderad den 30 juni och 7 juli samt uppmätt grön bladyta i beståndet den 20 juli. Svartpricksjuka var den sjukdom som påträffades i störst utsträckning i Örberga-försöket och därför bestämdes det att det var mot den som bildmaterialet skulle jämföras. Medelvärden plottades också mot den för hand utförda graderingen genom ett s.k. *scatterplot*-diagram i MS Excel.

En regressionsanalys utfördes mellan samtliga band och NDVI (Micasense) respektive GRVI (Sony) från den 17 augusti med graderingen utförd samma dag. Detta för att se vilket band/index som skulle uppvisa bäst korrelation mot manuell gradering. Determinationskoefficienten och p -värden beräknades i Excel för att ge information om vilka band och index som gav bäst korrelationen.

$$y = k * x + m$$

Ekvation 1

p -värdet talar om hur stor sannolikheten är att lutningskoefficienten (k) hos den linjära regressionen (Ekvation 1) är skild från noll, d.v.s. att det finns ett samband mellan bildvärden (y) och gradering i fält (x). m beskriver värdet på y där linjen korsar y -axeln. Följande nollhypotes (H_0) och alternativa hypotes (H_1) ställdes upp och testades för signifikansnivåerna (α): 0,05, 0,01 och 0,001.

H_0 : Reflektansvärden eller index har ingen korrelation med graden av angrepp i beståndet ($k = 0$).

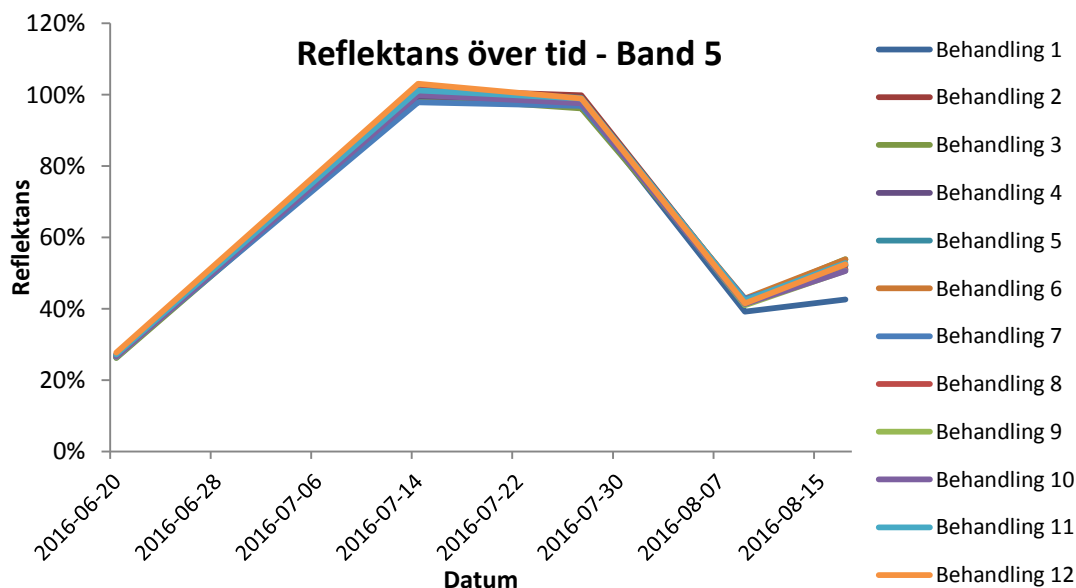
H_1 : Reflektansvärden eller index korrelerar med förekomsten av angrepp i beståndet ($k \neq 0$).

Om $p < \alpha$ förkastades H_0 och korrelationen mellan reflektans, eller index, och graderade angrepp är statistiskt signifikant.

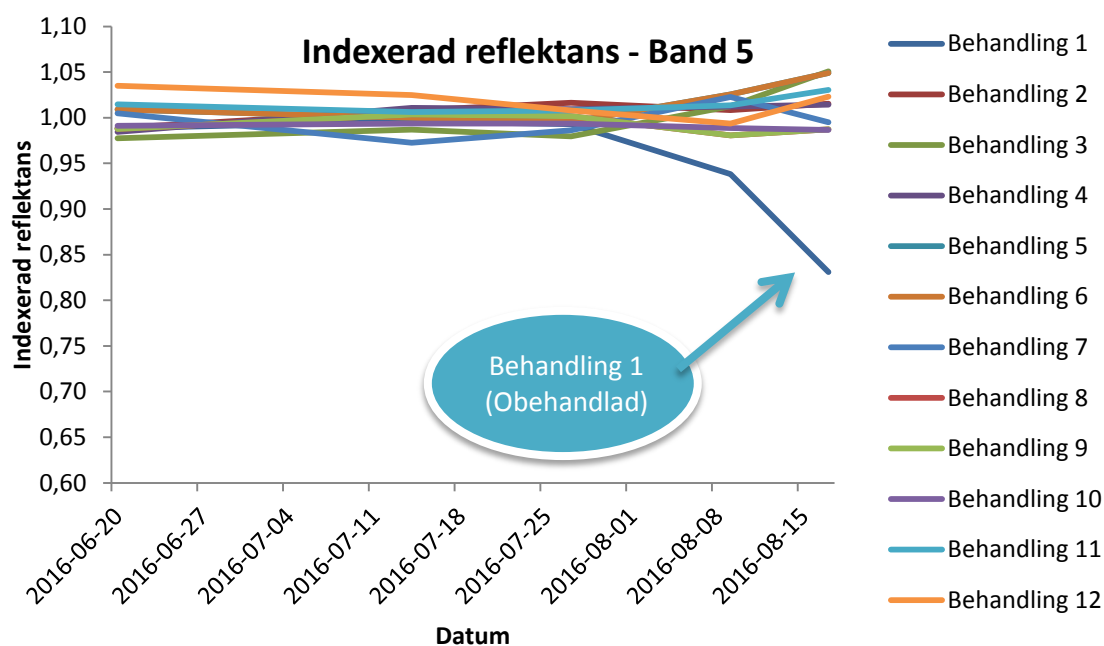
5 Resultat

Beskrivande statistik

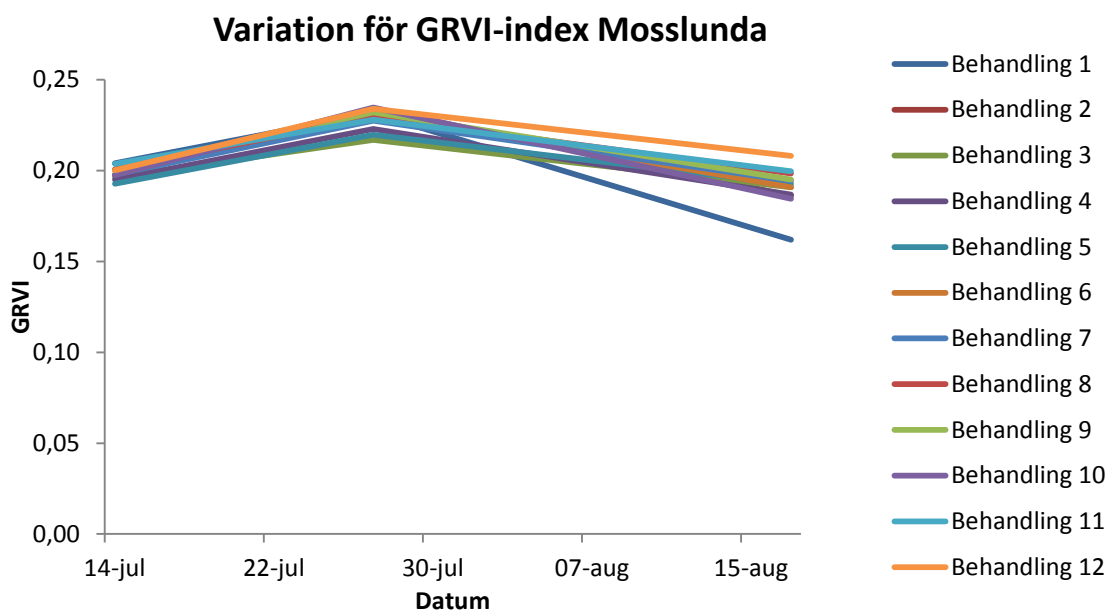
Genom att följa reflektansens förändring i band 5 över tid för de olika behandlingarna i kunde förekomsten av eventuella avvikande mätvärden tydliggöras. Parcelernas reflektansvärden (Figur 8) följs tydligt åt med endast små avvikelser med undantaget för led 1, vilket är det obehandlade ledet, den 17 augusti. Skillnaden blir tydligare när reflektansen divideras med medelreflektansen för alla tillfällen (indexerad reflektans) i Figur 9. Observera att y-axelns minimivärde inte längre är 0,0 utan 0,6. Resultaten från den RGB-sensor som användes på Mosslunda redovisas på samma sätt i Figur 10 och i Figur 11. Försöket i höstvetete på Skälsund avbröts och därför redovisas inga resultat från detta. Örberga-försöket fortsatte och dessa resultat redovisas i Figur 12 och Figur 13.



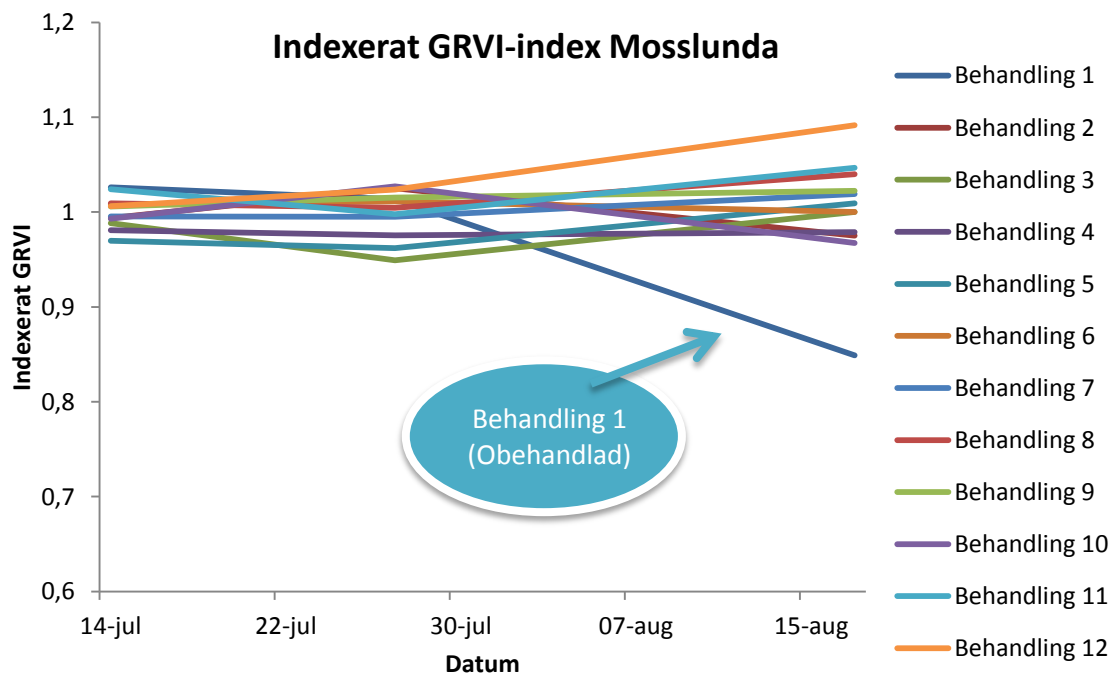
Figur 8. Variation i uppmätt reflektion i band 5 över tid för var och en av de 12 behandlingarna. Behandling 1 är obehandlad. Övriga behandlingar (2-12) innehåller växtskyddsmedel som syftar till att hämma svamptillväxten.



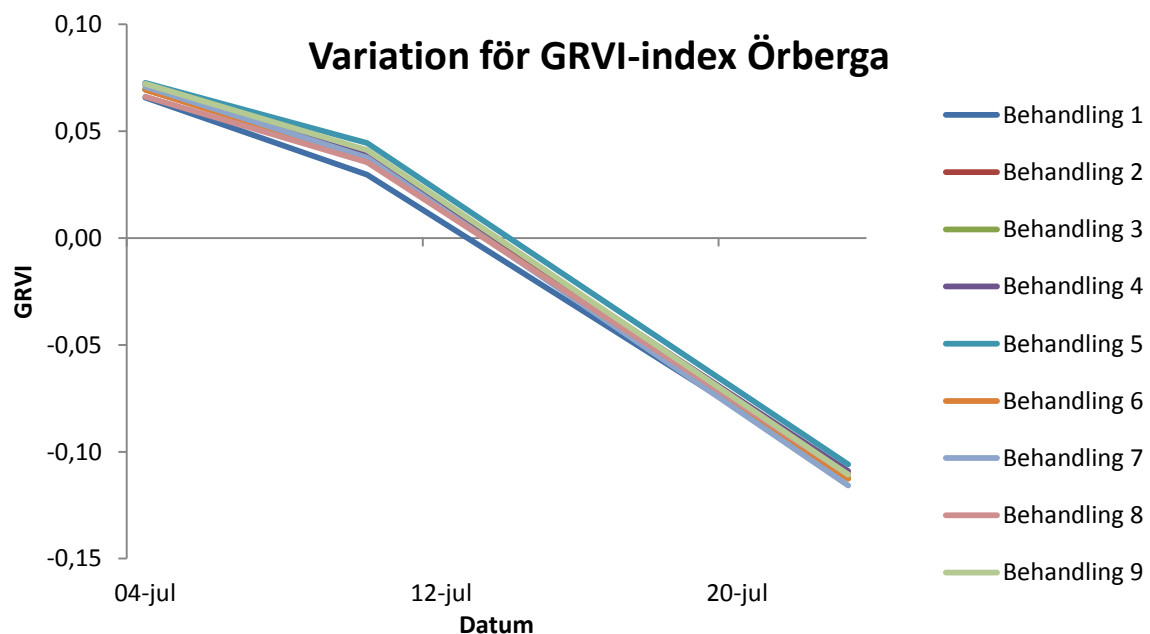
Figur 9. Indexerad reflektans (reflektansen för ledet dividerat med medelreflektansen för mättillfället) för band 5. Observera att basen på Y-axeln är 0,6. Behandling 1 är obehandlad. Övriga behandlingar (2-12) innehåller växtskyddsmedel som syftar till att hämma svamptillväxten.



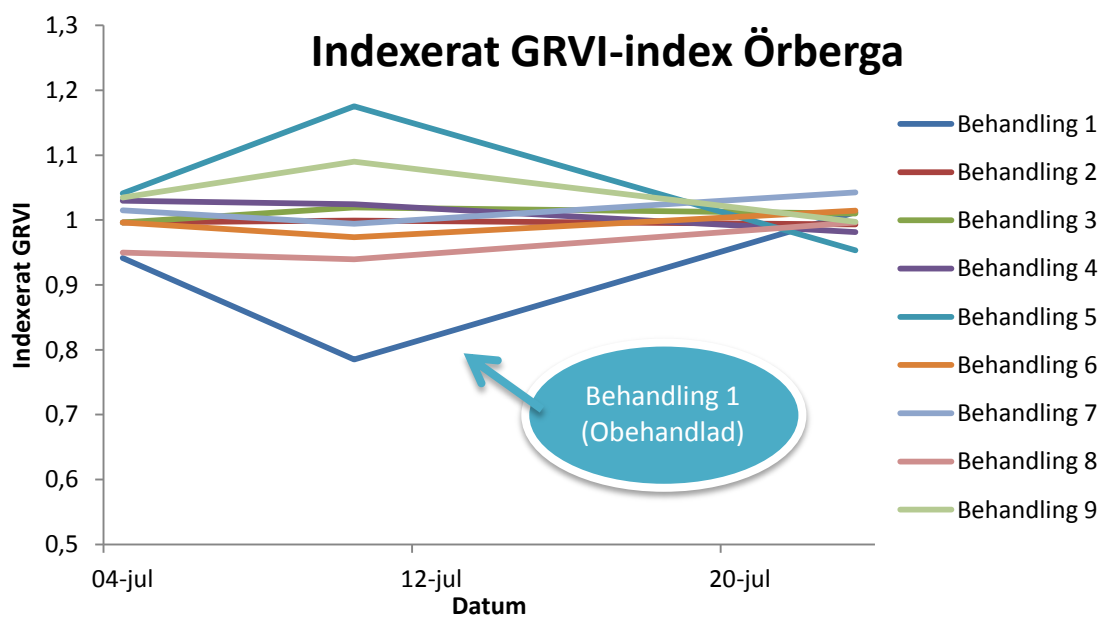
Figur 10. Variationen för GRVI-indexet på Mosslunda. Uppmätt med Sony RX-100. Behandling 1 är obehandlad. Övriga behandlingar (2-12) innehåller växtskyddsmedel som syftar till att hämma svamptillväxten.



Figur 11. Indexerat GRVI-index för Sony RX-100-kameran på Mosslunda. Den linje som viker av nedåt är det obehandlade ledet. Behandling 1 är obehandlad. Övriga behandlingar (2-12) innehåller växtskyddsmedel som syftar till att hämma svamptillväxten.



Figur 12. Variationen för GRVI-indexet hos de olika behandlingarna, uppmätt med kameran ombord på DJI Phantom 3 på Örberga. Behandling 1 är obehandlad. Övriga behandlingar (2-9) innehåller växtskyddsmedel som syftar till att hämma svamptillväxten.



Figur 13. Indexerad variation av GRVI-indexet på Örberga. Det obehandlade ledet ses sticka ut med ett värde under 0,8 den 10 juli. Behandling 1 är obehandlad. Övriga behandlingar (2-9) innehåller växtskyddsmedel som syftar till att hämma svamptillväxten.

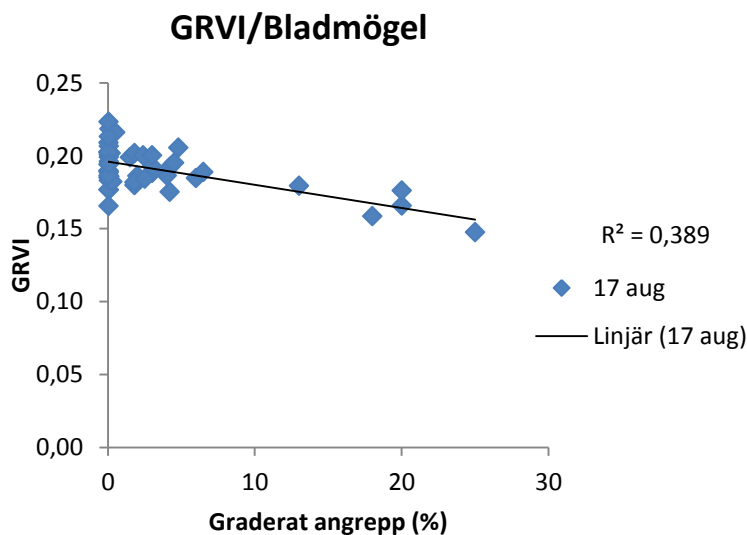
Regressionsanalys - alla band vid ett tillfälle

När determinationskoefficient och p -värde granskats fann man bäst korrelation mellan okulär gradering och reflektansdata för det nära-infraröda ljuset i band 5 (825-860 nm) i mosaiken från MicaSense RedEdge-sensorn, se Tabell 5.

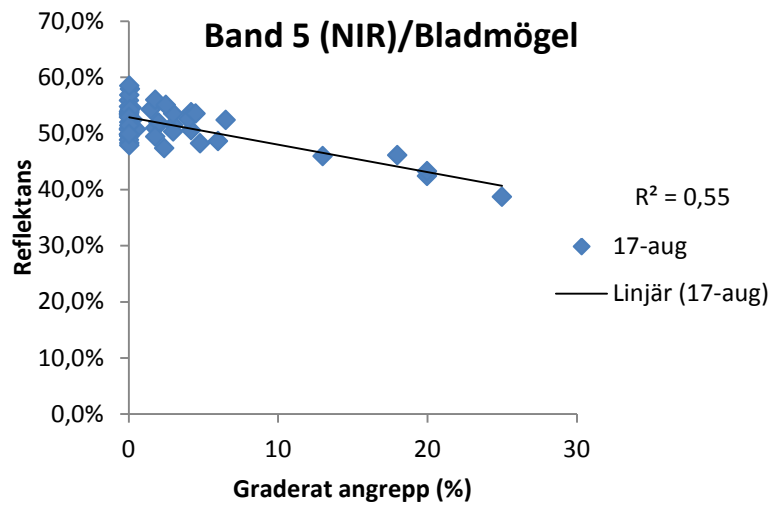
Tabell 5. Sammanställning över determinationskoefficienter (R^2) från MicaSense-sensorn, den 17 augusti. Signifikansnivån (α) för p -värde för lutningskoefficienten hos del linjära regressionsanalyserna för de olika banden/idxen anges efter R^2 -värdet. Raden längst ner R^2 (DJI) undersöker korrelationen mellan reflektans/GRVI och angrepp av svartpricksjuka den 23 juli. * = $p \leq 0,05$, ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,001$, ns = $p > 0,05$.**

Sensor	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	NDVI/ GRVI
MicaSense	0,04ns	0,00ns	0,00ns	0,02ns	0,55***	0,49***
Sony	0,01ns	0,01ns	0,06ns	-	-	0,38***
DJI	0,02ns	0,01ns	0,02ns	-	-	0,08*

Här följer scatterplots för GRVI (Figur 14) respektive NDVI (Figur 15) på Mosslanda. I båda diagrammen plottas vegetationsindexet mot den gradering som utförts manuellt i försöket den 17 augusti.



Figur 14. Jämförelse mellan GRVI och manuell gradering i potatis, bägge utförda den 17 augusti.



Figur 15. Jämförelse mellan NDVI och manuell gradering i potatis. Både datainsamling och gradering utförd 17 augusti.

Regressionsanalys - utvalda band för alla tillfällen

Baserat på regressionsanalysen mellan alla band och GRVI/NDVI-index från flygningen den 17 augusti och de manuella graderingarna valdes den bästa variabeln ut från varje sensor. Det var band 5 från Micasense-sensorn och GRVI-indexet från RGB-kamerorna, för både Mosslunda och Örberga. Linjära regressionsmodeller mellan dessa band/index och visuella graderingar parametriserades för alla mätillfällen då det fanns kompletta mätdata. Resultaten sammanfattas i Tabell 6 (GRVI från RGB-kameran i Mosslunda), Tabell 7 (band 5 från den multispektrala sensorn) och Tabell 8 (GRVI från RGB-kameran på Örberga). På Örberga visade de manuellt graderade svampangreppen generellt en låg korrelation mot det beräknade GRVI-indexet. Korrelationen var starkare mellan reflektansen och andelen grön bladyta, se Tabell 8.

Tabell 6. Samlade värden för determinationskoefficienten (R^2) och p -värde för linjära regressioner mellan GRVI-index (Tabell 2-3) från RGB-sensorn Sony RX-100 och manuella graderingar av potatisbladmögel. Observera att graderingen från den 6 september jämförs med bild-material från den 17 augusti. Datumet avser dagen för bildinsamling, den aktuella graderingen kan ha utförts både före och efter dessa dagar. * = $p \leq 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$, ns = $p > 0,05$.

Datum	p -värde	Signifikansnivå	R^2
14-jul	0,75	ns	0,00
27-jul	0,49	ns	0,01
17-aug	0,00	***	0,39
06-sep	0,44	ns	0,31

Tabell 7. Värden för determinationskoefficienten (R^2) och p -värde för samtliga graderingar i fält, jämförda med uppmätt reflektans i band 5 hos Micasense RedEdge™. Den 20 juni (övre raden) fanns inga angrepp att se. * = $p \leq 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$, ns = $p > 0,05$.

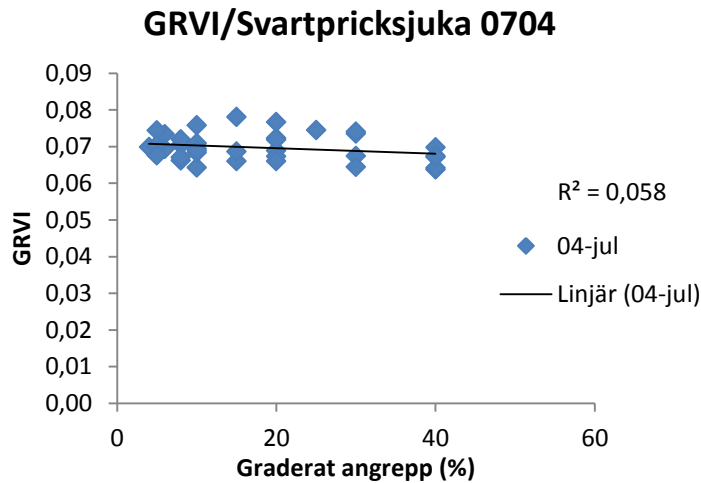
Datum	p -värde	Signifikansnivå	R^2
20-jun	-	-	-
14-jul	0,34	ns	0,02
27-jul	0,18	ns	0,04
09-aug	0,11	ns	0,02
17-aug	0,00	***	0,55
Skillnad 9-aug till 17-aug	0,04	*	0,09
17-aug (bild) – 06-sep(grad)	0,00	***	0,31
20-jun (bild) – 06-sep(grad)	0,30	ns	0,02

Tabell 8. Statistik från försöket på Örberga. I tabellen jämförs GRVI-index för de olika datummen med svampangrepp och uppmätt andel grön bladyta.

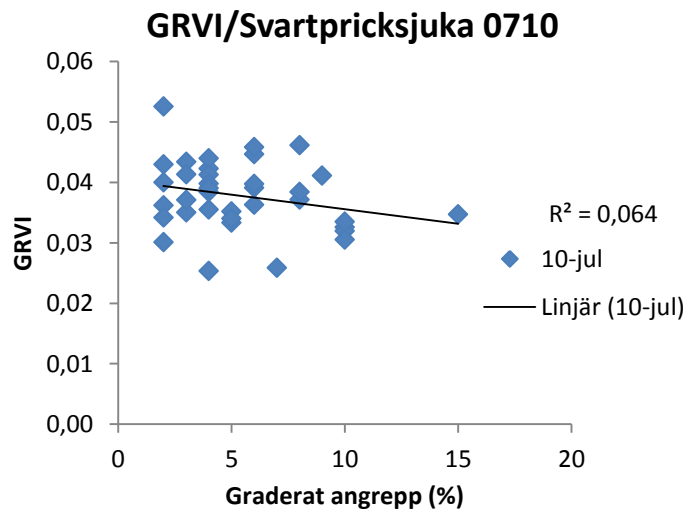
Datum	Jämförs med	<i>p</i> -värde	Signifikansnivå	R ²
04-jul	Svampangrepp	0,16	ns	0,06
10-jul	Svampangrepp	0,13	ns	0,07
10-jul	Grön yta	0,05	*	0,27

Från försöken i Mosslunda kan statistiska värden ses i Tabell 6-7. De sista två raderna i Tabell 7 jämför bilder från 20 juni respektive 17 augusti med den sista graderingen som utfördes 6 september, för vilken ingen samtidig bildinsamling gjordes. Detta har två syften. Dels att se om reflektansen från 20 juni kan säga någonting om vilka angrepp som kommer ske, och dels för att se om korrelationen blir starkare med en manuell gradering utförd senare än insamlat bildmaterial. Om så var fallet skulle det tyda på att band 5 kan visa på infektioner i ett begynnande stadie, som ännu inte går att se med blotta ögat. Som Tabell 7 visar är determinationskoefficienten generellt låg och *p*-värdet relativt högt, alltså finns det inget som tyder på att vi med hjälp av nära infrarött ljus kan förutspå kommande angrepp.

För försöken på Örberga jämfördes bildmaterial med graderingar. Polygonernas medelvärden ses här (Figur 16, Figur 17) på Y-axeln i ett punktdiagram med graderade angrepp (för Figur 18 andelen grön bladmassa) på X-axeln. Reflektansen är väl samlad inom ett litet intervall även när graderingen skiljer sig åt. Detta medför att determinationskoefficienten, R^2 , är låg.

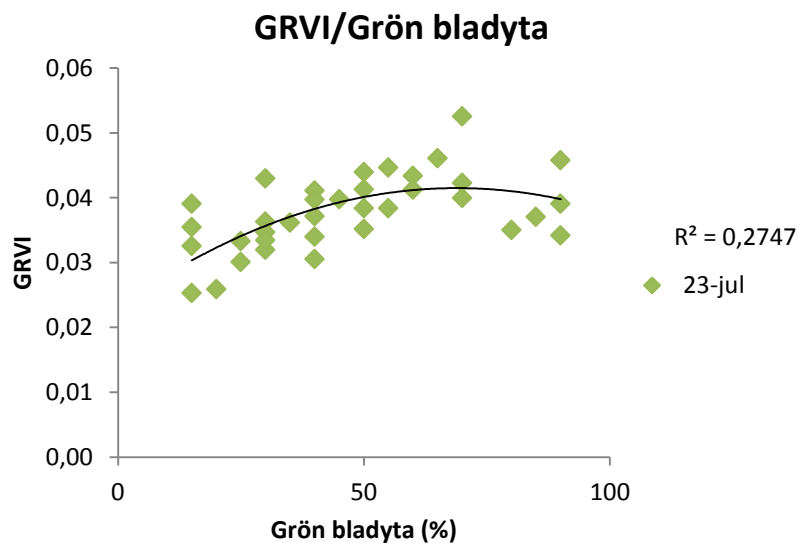


Figur 16. GRVI-index jämfört med manuell gradering av svartpricksjuka den 4 juli på Örberga.



Figur 17. GRVI-index jämfört med manuell gradering av svartpricksjuka den 10 juli på Örberga.

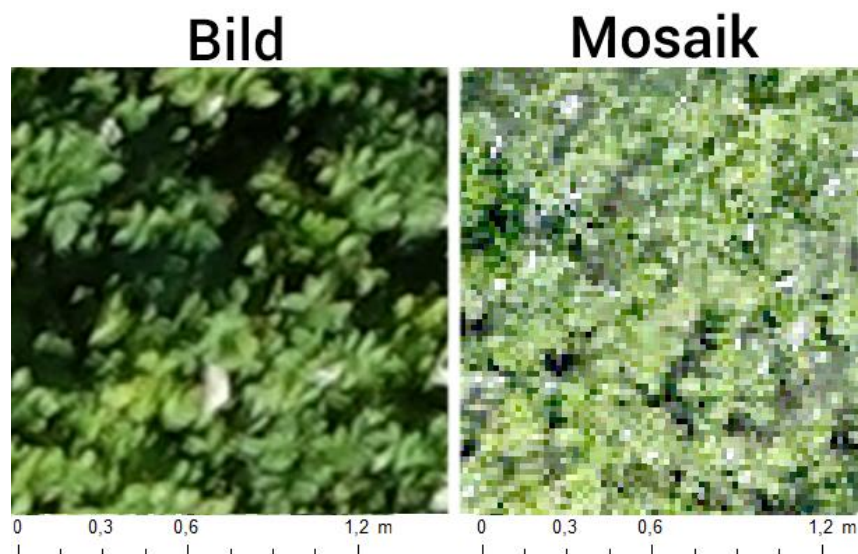
När GRVI (y-axeln) plottas mot andelen grön bladyta blir korrelationen starkare men inte statistiskt signifikant (p -värde strax över 0,05). Grön bladyta graderades den 21 juli. GRVI är för övrigt positivt för 4 och 10 juli men negativt för den 23 juli, då beståndet gulnat och det röda bandet i bilderna får högre värden än det gröna.



Figur 18. GRVI-index jämfört med manuell gradering av grön bladyta den 10 juli på Örberga.

Bedömning av sensor- och bildteknik

För att bedöma möjligheten till detaljerad bildanalys och identifiering av enskilda fläckar gjordes en visuell granskning av mosaiker och enskilda bilder. I Figur 19 ses en sådan jämförelse. Det konstaterades vid en närmare granskning att mosaiken höll en sämre bildkvalité (2 cm/pixel) än det ursprungliga materialet som tydligt visar en bättre upplösning. Även ljusskillnader hade uppkommit i mosaiken från ett tillfälle vid flygning under varierande ljusförhållanden och på låg höjd (visas ej).



Figur 19. Jämförelse mellan ursprunglig bild (t.v.) och mosaik (t.h.) för samma plats i fältet. Bilden är tagen med Sony RX-100. Det blir då tydligt se att mosaiken håller en sämre upplösning än den ursprungliga bilden.

Rutfördelning i fält

Block I Ruta 1-12>>

12	8	11	9	5	4	2	6	10	3	7	1
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	10	2	1	8	5	7	11	12	6	4	9

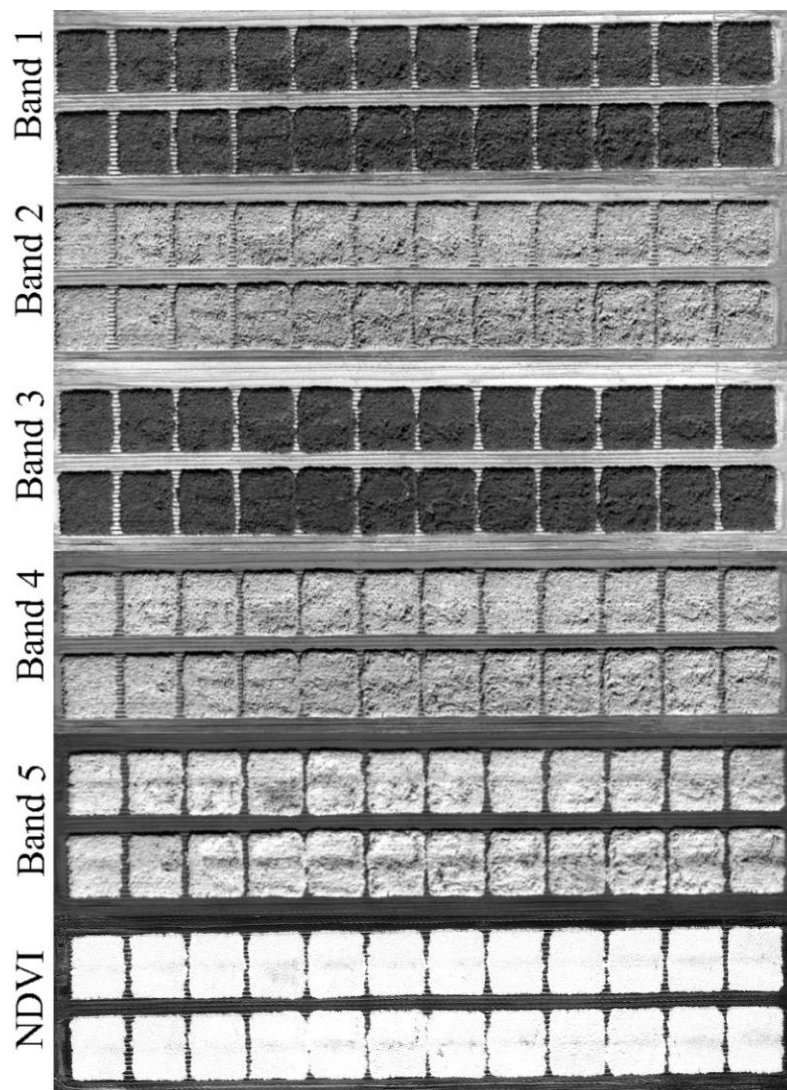
7	1	3	12	11	6	8	9	5	4	2	10
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	6	10	5	3	2	11	12	1	8	9	7

Block IV Ruta 37-48>>

Figur 20. Blockens placering och utseende vid försöket på Mosslunda. Behandling 1 är obehandlad. Övriga behandlingar (2-12) innehåller växtskyddsmedel som syftar till att hämma svamp tillväxten. Obehandlade ytor är markerade med gul färg. Siffrorna i blocket representerar dess behandling.

Visualisering av individuella band

I Figur 21 kan vi se hur de olika banden från den multispektrala sensorn ser ut vid en visuell granskning. Varje pixel i dessa bilder har ett värde. Detta användes när medelvärden beräknades för hela den markerade ytan inom parcellen (Figur 4). Längst ner i figuren syns det vegetationsindex som beräknades (baseras på band 3 och 5). I Figur 20 syns återigen de olika behandlingarnas placering.



Figur 21. Utseendet för de olika banden samt ett vegetationsindex (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI), den 17 augusti. Med hjälp av figuren är det lättare att förstå varför band 5 visade bäst korrelation.

Flygeffektivitetsberäkning

Beroende på vilken typ av sensor som används och vilken upplösning som krävs för efterföljande dataanalys kommer olika flyghöjder att användas. Flyghöjden är den viktigaste faktorn för vilken effektivitet som är möjlig att nå och hur stora ytor som kan täckas per tidsenhet. I Tabell 9 nedan ses hur flyghöjd påverkar bildmaterialets upplösning och total täckt yta per laddning.

Tabell 9. Jämförelse av kapacitet för UAS. Exempel på olika kombinationer av upplösning, täckt yta och flyghöjd för en batteriladdning (flygtid) hos två olika farkoster. Överlappet är i beräkningen satt till 80 % i sidled och 80 % i färdriktningen (80S/80F %).

Farkost	Flygtid (min)	Flyghöjd (m)	Upplösning (cm/pixelsida)	Täckt yta (ha)
DJI Phantom 3	19	30	1,3	2
(3 band, DJI-	19	60	2,6	4
kamera)	19	120	5,1	37
(80S/80F %)				
EXPLORIAN 8	12	30	2	-
(5 band, RedEdge)	12	60	4,1	-
(80S/80F %)	12	120	8,0	-

6 Diskussion

Generellt för arbetet

Detta arbete har utförts med syftet att undersöka om det finns möjliga tillämpningar för RGB-kameror och multispektral sensorteknik i stråsäd och potatis, med fokus på att upptäcka sjukdomar i ett tidigt stadium. Året 2016 var generellt ett ogynnsamt år för växtskyddsförsök. De vanligaste sjukdomarna som drabbar vete – vilket var grödan på Örberga – bladfläcksjuka, svartpricksjuka och gulrost uppträdde inte alls eller mycket sent på säsongen och i mindre omfattning än vanligt. Detta orsakades av att nederbörden under juni och juli månad var mindre än normalt i det område där försöken utfördes (Se SMHI-rapport i appendix 1, sidan 56).

Sensordetektion av potatisbladmögel

I potatisen på Mosslunda var frånvaron av regn troligen av mindre vikt för resultaten, då bevattningskan ske om regn uteblir och på så vis skapa en stundtals gynnsam miljö för svampangrepp och samtidigt sprida sporer uppåt i beståndet. En regnig sommar med mer fukt i beståndet hade däremot kunnat ge en ännu högre infektionsrisk och större angrepp. De största angreppen vid den sista datainsamlingen (17 augusti) var 25 % i det obehandlade ledet, vilket verkade vara tillräckligt för att se en skillnad i reflektansen i NIR-bandet (se Figur 9). Från det material som samlats in kan vi se vikten av att följa med under hela säsongen när bildmaterial skapas. Detta för att kunna följa hur olika delar av fältet drabbas och få ”digital data” på förekomsten av sjukdomar i såväl fält som parceller i försök. Angreppen i potatis kom sent och det obehandlade ledet börjar sticka ut från övriga behandlingar först i de två sista mätningarna (se Figur 9). Först då kan man alltså anta att skillnader mellan obehandlade och behandlade led är möjliga att upptäcka med UAV-burna sensorer (då okulära graderingar visar 25 % angrepp). Vid denna grad av angrepp skrev Ray m.fl. (2011) att angreppen även kunde ses i

det röda bandet (620-680 nm) genom en skillnad i reflektans. Detta var dock inget som kunde ses i detta arbete. Samma författare nämner att angrepp under 25 % kan ses (baserat på skillnader i reflektion) i far-red-bandet, men även detta är något som detta arbete inte har kunnat styrka. Enligt graderingsskalan har nästan varje småblad fläckar vid denna angreppsgrad, men fältet ser fortfarande grönt ut.

Det är alltså fullt möjligt att utföra en datainsamling över fält som sedan får ligga till grund för en dosreglering av efterföljande fungicidbehandling (förutsatt att högre angreppsgrad (>25 %) är tillåten) men det är tveksamt om vi ser resultaten i tid för att hindra en fortsatt spridning av bladmögel i beståndet. Från början av augusti kan vi se den tidigare tätt samlade gruppen av reflektansvärden för de olika behandlingarna på Mosslunda spricka upp och skiljas åt (Figur 8). Detta kan betyda att det är först efter den perioden som det går att ana skillnader i effektivitet från de olika behandlingarna med variation av fungiciddos och verksamt substans (eller upptäcka angrepp), åtminstone om målet är att se skillnaderna med en luftburen sensor på 22 meters höjd. Att materialinsamlingen inte fortsatte efter 17 augusti berodde på att man ansåg att bildmaterialet täckte in tydliga skador, men i efterhand kan det ha varit en god idé att fortsätta med datainsamlingen ytterligare en tid, ungefär till dess att 50 % av beståndet har vissnat ner. Hade datainsamlingen under säsongen fortsatt hade vi troligen kunnat se hur reflektansen börjar sjunka för de olika leden i en varierande takt, med den mest lyckade fungicidbehandlingen som sista avvikande kurva.

Att välja rätt dag för undersökningen

Vi kan även konstatera att det är önskvärt att välja dagar för bildinsamling då variationen i solinstrålning är låg. En snabbt växlande molnighet under en flygning kan ge fläckar i mosaiken som orsakas av att vissa bilder är tagna under kraftigt solljus och andra med solen täckt av moln. De ljusare bilderna kommer då att tolkas som att de innehåller ett mindre frodigt bestånd och ge lägre (och felaktiga) värden i beräknade vegetationsindex. En av de skapade mosaikerna från sommarens datainsamling innehöll sådana ljusfläckar, och gick inte att använda på grund av den stora variationen i tidigare jämna parceller och osäkerhet över resultaten som detta orsakade. Beroende på ljusförhållanden kan även skuggor i beståndet förekomma i varierande grad. En möjlig lösning på detta och ytterligare en metod för att öka träffsäkerheten i resultaten skulle vara att maskera bort områden som faller under en viss ljuströskel, vilket skulle eliminera skuggor och öka andelen av reflektionsavläsningen som utgörs av bladyta.

Konkurrens om luftrummet på 24 meters höjd

I och med att UAS-tekniken utvecklas och nya användningsområden uppkommer ökar konkurrensen om luftutrymmet. I vissa delar av landet, särskilt i Östergötland, finns stora områden med flygzoner (kontrollzoner) där ingen UAS-trafik får finnas utan tillstånd från flygledartorn ansvarigt för respektive kontrollzon. Då kommersiell flygtrafik har företräde och stora säkerhetsavstånd tillämpas kan det vara svårt och stundtals omöjligt att få tillstånd att lyfta med UAS. Förfarandet är i regel att flygledartornet kontaktas och UAS-operatören får ange område för flygning, flyghöjd, tid för aktiviteten och kontaktuppgifter. Finns utrymme kan flygning påbörjas omedelbart, om inte placeras operatören i en kö och meddelas när uppstigning är möjlig. Vid avslutad flygning måste detta meddelas till flygledartornet. Under arbetets gång har flera flygtorn kontaktas som har resulterat i mycket varierande erfarenheter. Nyköpings flygledartorn (Skavsta flygplats) tilldelade generöst med tid och tillät omedelbar start. Norrköpings flygledartorn tillät ingen start på 30 minuter, och under hela denna tid kunde inget flygplan ses till i luften, vilket verkar orsakas av generösa säkerhetsavstånd. När flygning väl tilläts var detta i 5-minuters perioder vilket omöjliggjorde effektiv datainsamling under en jämn solljusinstrålning. Det bör också tilläggas att inrapporterad begärd flyghöjd var 24 m, vilket var lägre än intilliggande trädtoppar.

Sjukdomar och RGB-sensor

När den uppmätta reflektansen jämfördes med svampangrepp i parcellerna fanns ingen tydlig korrelation att se (största graderade angreppet var 30 %). Däremot visade uppmätt andel grön bladyta en betydligt bättre korrelation. Av detta kan vi anta att den typ av RGB-sensor som användes kan fylla en sådan funktion, men att det knappast är tillfredställande om målet är att upptäcka mindre angrepp i form bladfläckar. Knipling (1970) skriver att effekter av sjukdomar och stress syns först i det synliga spektrat (RGB) snarare än med infrarött eller nära-infrarött ljus, men det stämmer inte med resultaten från de utförda analyserna i detta arbete. Slutsatsen blir att en upplösning på 4 cm per pixel ger liten möjlighet till sjukdomsdetektion och är beroende av en stor andel död bladbiomassa för att ge tillräcklig reflektans av ljus med de våglängder som annars absorberas vid fotosyntesen.

Idéer för framtida forskning

En ännu lägre flyghöjd hade om möjligt bidragit till en högre upplösning och ökat sannolikheten för att enstaka angrepp kan utläsas. Detta förutsätter dock att inga hinder med risk för kollision finns inom eller i direkt angränsning till fältet. En komplett fältskanning kräver dock oerhört mycket data och batteritid då effektiviteten blir oerhört låg vid en flyghöjd om endast ett par meter. En Vertical Take-off and Landing (VTOL) – UAV har dessutom nackdelen att den kraftiga luftströmmen som motorerna genererar orsakar turbulens i bladverket och kan ge otydliga bilder. Det skulle däremot kunna tänkas vara till en fördel om beståndet kan ”vikas upp” för att se längre ner i det, likt den funktion som en luftassisterad ramp (Ex. Hardi TWIN) på en växtskyddsspruta fyller.

För att undvika turbulens i beståndet kan en så kallad Fixed-wing – UAV användas. Denna använder en horisontellt riktad motor med propeller för acceleration och en vinge konstruerad av lättviktsmaterial såsom frigolit eller glasfiber för lyftkraft, likt traditionella flygplan. Dessa har däremot svårt att hålla en jämn flyghöjd och brukar (växelvis) accelerera en tid och öka höjden, för att sedan glida fritt och minska i höjd. Detta kan vara ett riskabelt flygsätt om det sker väldigt nära toppen av beståndet. En möjlig lösning för låghöjds-detektion hade då varit att använda en VTOL-UAV och flyga på en höjd som inte skapar turbulens (ca 2 m) och sedan flyga en uppritad slinga över fältet och på så vis insamla ett stickprov. Då flertalet VTOL-modeller dessutom är utrustade med ultraljudssensorer för att avläsa avståndet till marken är det rimligt att tro att dessa själva skulle kunna hålla en förinställd höjd över ett tätt bestånd och aktivt följa variationer i topografin.

Slutligen vill jag betona värdet av att investera i shapefile (.shp) – kompatibel utrustning i lantbruksföretagens maskinpark. Oavsett vad som undersöks med UAS (ogräs, spillsäd, sjukdomar, skörd, viltskador m.m.) så kommer bryggan mellan datainsamling i fält och följande insatser i form av gödsel, ogräsbekämpning m.m. att vara en styrfil som talar om hur givor eller doser ska varieras över fältet. Denna typ av utrustning kommer med stor sannolikhet att ge framtida lantbrukare möjligheter till bättre beslutsunderlag och energieffektivare matproduktion.

7 Slutsatser

Efter detta arbete kan konstateras att varken RGB- eller NIR-sensorer idag är kapabla att upptäcka begynnande angrepp av svampsjukdomar inom den tidsram då vinsten med användning av fungicider är som störst. Följande specifika slutsatser kan dras från studien:

- Angrepp av potatisbladmögel korrelerade med reflektansvärden från den RedEdge-sensor som användes och starkast var korrelationen med band 5 (NIR) med $R^2 = 0,55$; ($p < 0,001$). Korrelationen var något starkare än korrelationen med NDVI ($R^2 = 0,49$; ($p < 0,001$) som tar hänsyn till både röd och nära infraröd reflektans.
- GRVI-indexet från RGB-sensorn korrelerade signifikant med vetebeståndets grönhet ($R^2 = 0,27$, $p = 0,05$), men sjukdomar kunde inte detekteras.
- Om man vill gå vidare med bildanalys och testa metoder att identifiera enskilda bladfläckar bör man göra detta på originalbilder och inte på mosaiker, då bildkvaliteten försämras vid skapande av mosaiker.
- Flygeffektivtetsberäkningen visar att en hög upplösning (1 cm/pixel) med stora överlapp (80/80%) medför en möjlig kapacitet på under 2 ha per batteriladdning för den UAV som i försöket hade högst kapacitet.

Samtliga slutsatser dras med viss försiktighet då resultaten i stråsäd endast jämförts med en (1) svampsjukdom under ett (1) år med generellt mycket friska fält som inte krävt behandling med fungicider. I potatis kan slutsatserna presenteras med en större säkerhet, med förbehåll för att resultaten endast grundar sig på ett (1) försök utfört under en (1) säsong. För att med säkerhet konstatera att tidigare presenterade slutsatser stämmer bör liknande undersökningar utföras under flera följande år. Förhoppningen fortsätter att vara att denna teknik ska kunna utföras på större arealer och slutligen gårdsnivå utan att kräva en stor bakomliggande kunskap och erfarenhet inom området.

Referenslista

Alexandersson, E., Liljeroth, E. (2014). Fjärranalys av bladmögelangrepp i potatis. *Slutrapport Partnerskap Alnarp projekt* (SPA 789). Available from: <http://194.47.52.113/janlars/partnerskapalnarp/uploads/projekt/789.pdf>. [Accessed 2016-09-21].

Andersson, B., Sandström, M. (2000). Bladmögel och brunröta på potatis. *Faktablad om växtskydd nr 39*. Available from: http://www.slu.se/globalassets/.gamla_strukturen/externwebben/nl-fak/ekologi/vaxtskydd/faktablad/faktablad_om_vaxtskydd_39j.pdf. [Accessed 2016-09-21].

Blitecast & Tomcast estimates - UW Vegetable Pathology. [online]. Available from: http://www.plantpath.wisc.edu/wivegdis/contents_pages/remote_data_forecast.html#blightcast. [Accessed 2016-10-03].

Bock, C. H., Poole, G. H., Parker, P. E. & Gottwald, T. R. (2010). Plant Disease Severity Estimated Visually, by Digital Photography and Image Analysis, and by Hyperspectral Imaging. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29(2), pp 59–107.

Börjesson, T., Lorén, N., Larsolle, A., Söderström, M., Nilsson, J. & Nissen, K. (2008). Bildanalys som redskap för platsspecifik ogräsbekämpning. *ResearchGate* [online]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/40720696_Bildanalys_som_redskap_for_platsspecifik_ograsbekampning. [Accessed 2016-11-22].

Castro, A. I. de, Jurado-Expósito, M., Peña-Barragán, J. M. & López-Granados, F. (2011). Airborne multi-spectral imagery for mapping cruciferous weeds in cereal and legume crops. *Precision Agriculture*, 13(3), pp 302–321.

Chapman, S. C., Merz, T., Chan, A., Jackway, P., Hrabar, S., Dreccer, M. F., Holland, E., Zheng, B., Ling, T. J. & Jimenez-Berni, J. (2014). Pheno-Copter: A Low-Altitude, Autonomous Remote-Sensing Robotic Helicopter for High-Throughput Field-Based Phenotyping. *Agronomy*, 4(2), pp 279–301.

Curtis, B.C. (1996) Wheat in the world [online]. Available from: <http://www.fao.org/docrep/006/y4011e/y4011e04.htm>. [Accessed 2016-10-05].

Erena, M., S. Montesinos, D. Portillo, J. Alvarez, C. Marin, L. Fernandez, J. M. Henarejos, and L. A. Ruiz. “Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle for precision agriculture.” *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XLI-B1 (June 6, 2016): 809–16. doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B1-809-2016.

Multispectral vs Hyperspectral Imagery Explained. [online] (2014-07-23) (GIS Geography). Available from: <http://gisgeography.com/multispectral-vs-hyperspectral-imagery-explained/>. [Accessed 2016-11-20].

Gitelson, Anatoly A., Yoram J. Kaufman, Robert Stark, and Don Rundquist. “Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction.” *Remote Sensing of Environment* 80, no. 1 (April 2002): 76–87. doi:10.1016/S0034-4257(01)00289-9.

Jones, H. G. (2004). Application of Thermal Imaging and Infrared Sensing in Plant Physiology and Ecophysiology. In: Research, B.-A. in B. (Ed) pp 107–163. Academic Press.

Jones, H. G., Serraj, R., Loveys, B. R., Xiong, L., Wheaton, A. & Price, A. H. (2009). Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Functional Plant Biology*, 36(11), pp 978–989.

Jordbruksstatistisk årsbok 2014.pdf. Available from: <http://www.jordbruksverket.se/download/18.37e9ac46144f41921cd21be3/1403096032011/Kap+3+%C3%85kerarealens+anv%C3%A4ndning.pdf..> [Accessed 2016-09-21].

Jönsson, M. & Olsson, G. *Reducerade fungiciddoser vid bekämpning av potatismögel - vilka blir följderna?* [online] (2016-01-13). Available from: <http://stud.epsilon.slu.se/8726/>. [Accessed 2016-09-22].

Knipling, Edward B. "Physical and Physiological Basis for the Reflectance of Visible and near-Infrared Radiation from Vegetation." *Remote Sensing of Environment* 1, no. 3 (June 1, 1970): 155–59. doi:10.1016/S0034-4257(70)80021-9.

Eriksson, D., Carlson-Nilsson, U., Ortíz, R. & Andreasson, E. (2016). Overview and Breeding Strategies of Table Potato Production in Sweden and the Fennoscandian Region. *Potato Research*, 59(3), pp 279–294.

Meyer, G. E. & Neto, J. C. (2008). Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63(2), pp 282–293.

Moshou, D., Bravo, C., West, J., Wahlen, S., McCartney, A. & Ramon, H. (2004). Automatic detection of 'yellow rust' in wheat using reflectance measurements and neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44(3), pp 173–188.

Motohka, Takeshi, Kenlo Nishida Nasahara, Hiroyuki Oguma, and Satoshi Tsuchida. "Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology." *Remote Sensing* 2, no. 10 (October 15, 2010): 2369–87. doi:10.3390/rs2102369.

"Potato World: Production and Consumption - International Year of the Potato 2008." Accessed September 27, 2016. <http://www.fao.org/potato-2008/en/world/index.html>.

Ray, Shibendu Shankar, Namrata Jain, R. K. Arora, S. Chavan, and Sushma Panigrahy. "Utility of Hyperspectral Data for Potato Late Blight Disease Detection." *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 39, no. 2 (May 11, 2011): 161. doi:10.1007/s12524-011-0094-2.

Sankaran, S., Khot, L. R., Espinoza, C. Z., Jarolmasjed, S., Sathuvalli, V. R., Vandemark, G. J., Miklas, P. N., Carter, A. H., Pumphrey, M. O., Knowles, N. R. & Pavek, M. J. (2015). Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row

and field crop phenotyping: A review. *European Journal of Agronomy*, 70, pp 112–123.

Schirrmann, Michael, Antje Giebel, Franziska Gleiniger, Michael Pflanz, Jan Lentschke, and Karl-Heinz Dammer. “Monitoring Agronomic Parameters of Winter Wheat Crops with Low-Cost UAV Imagery.” *Remote Sensing* 8, no. 9 (August 27, 2016): 706. doi:10.3390/rs8090706.

Senthilnath, J., Akanksha Dokania, Manasa Kandukuri, Ramesh K.N., Gautham Anand, and S. N. Omkar. “Detection of Tomatoes Using Spectral-Spatial Methods in Remotely Sensed RGB Images Captured by UAV.” *Biosystems Engineering*, Special Issue: Advances in Robotic Agriculture for Crops, 146 (June 2016): 16–32. doi:10.1016/j.biosystemseng.2015.12.003.

Sugiura, R., Tsuda, S., Tamiya, S., Itoh, A., Nishiwaki, K., Murakami, N., Shibuya, Y., Hirafuji, M. & Nuske, S. (2016). Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle. *Biosystems Engineering*, 148, pp 1–10.

Torres-Sánchez, J., J. M. Peña, A. I. de Castro, and F. López-Granados. “Multi-Temporal Mapping of the Vegetation Fraction in Early-Season Wheat Fields Using Images from UAV.” *Computers and Electronics in Agriculture* 103 (April 2014): 104–13. doi:10.1016/j.compag.2014.02.009.

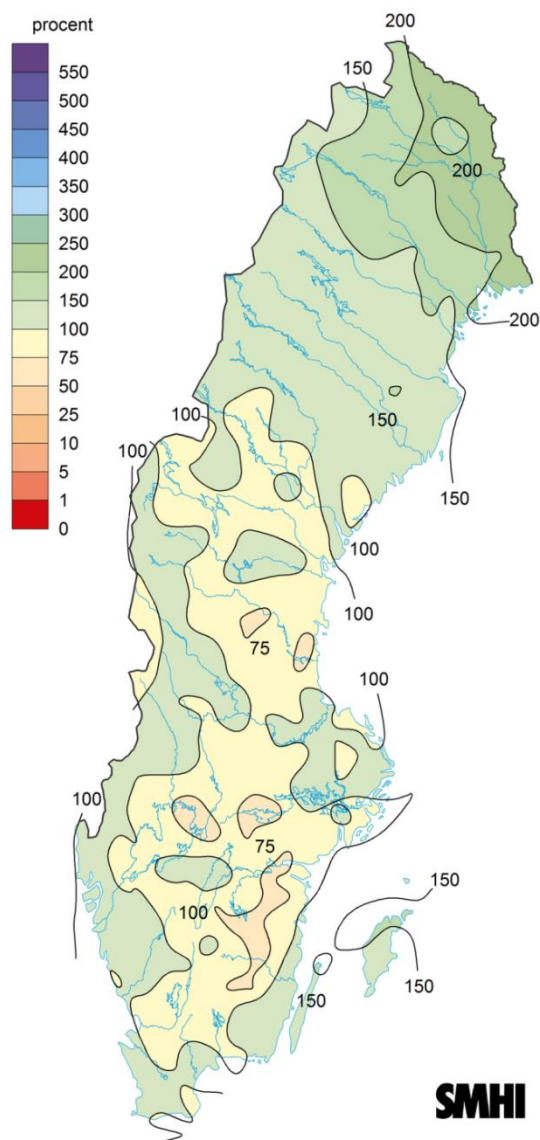
Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., Castro, A. I. D. & Peña-Barragán, J. M. (2013). Configuration and Specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Early Site Specific Weed Management. *PLOS ONE*, 8(3), p e58210.

Xie, C., Shao, Y., Li, X. & He, Y. (2015). Detection of early blight and late blight diseases on tomato leaves using hyperspectral imaging. *Scientific Reports* [online], 5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4647840/>. [Accessed 2016-10-05].

Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421

Zhang, C. & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13(6), pp 693–712.

8 Appendix 1



Figur 22 - Nederbörden i förhållande (%) till normal årstidsnederbörd för sommaren 2016. Skapad av SMHI.